PERIODICAL Oceanographical Soc. of Japan. Journal
LIBRARY
5(1)
DEC 4 1959
15(1)
FISH & WILDLIFE SERVICE

日本海洋学會誌

JOURNAL OF THE OCEANOGRAPHICAL SOCIETY OF JAPAN

ND C

Volume 15, Number 1 MARCH 1959

CONTENTS

F.C.W. OLSON: クリスタルのセイシュ理論におけるノルマルカーブ決定に対する簡易な方法（英文）……1～3

川上喜代四：津軽海峡西口における漂流瓶投入結果について（第2報）…… 5～10

岡本巖：海面に現われる Slick について（第1報）……11～14

山本広志：本邦内湾の海洋化学的研究（第5報），塩類組成の変動と海況との関係（その3，浦之内湾について）……15～18

山本広志：本邦内湾の海洋化学的研究（第6報），浦戸湾における酸素消費作用について（その1）…19～22

寄稿……23～33
録事……33～34
総目次……35～37

F.C.W. OLSON: *A Simplified Procedure for Determining the Normal Curve in* CHRISTAL's *Seiche Theory* ……1～3

K. KAWAKAMI: *The Report of the Drift-bottle Experiments at the West Entrance of Tugaru Strait, Hokkaido, Japan* (2). (in Japanese)... 5～10

I. OKAMOTO: *Slicks on the Sea Surface* (*Part I*). (in Japanese) ……11～14

H. YAMAMOTO: *Oceanographical Studies on Japanese Inlets* (5). *Relations between Variation of Chemical Compositions and Hydrographic Conditions on Uranouchi Bay* (*Part 3*). (in Japanese) ……15～18

H. YAMAMOTO: *Oceanographical Studies on Japanese Inlets* (6). *On the Consumption of Dissolved Oxygen in Urado Bay* (*Part 1*). (in Japanese) ……19～22

Correspondences……23～33
Proceedings ……33～34

Published quarterly by the
Oceanographical Society of Japan
c/o Geophysical Institute, Tokyo University
Yayoi-cho, Bunkyo-ku, Tokyo, Japan

日 本 海 洋 学 会

会　　長　日高孝次　東京大学

副 会 長　宇田道隆　東京水産大学

　　菅原健　名古屋大学

評議員（在京）：

編集委員：中野猿人*，新野弘，丸茂隆三，半沢正男，大久保明，宇野木早苗

会計委員：増沢譲太郎*，平野敏行

庶務委員：（文書連絡，事務局の監督）吉田耕造；（会合，議事）宮崎正衛*，福岡二郎；（企画）宇田道隆*，南日俊夫，宇野木早苗；（渉外——外国に対する）三宅泰雄*，竹内能忠；（国内の他学会との連絡）庄司大太郎；（海洋研究所設立準備委員会との連絡）松江吉行；（選挙事務，名簿）安井正；（学会図書）福岡二郎

監　　査：須田晥次*，新野弘

評議員（地方）：井上直一，木村喜之助，楠宏，小泉政美，斎藤行正，下村敏正，菅原健，杉浦次郎，辻田時美，速水頌一郎，菱田耕造，福富孝治，藤井義之，松平康男，元田茂

*印は委員長

日 本 海 洋 学 会 誌 投 稿 規 定

1. 投稿資格　報文の投稿者は，原則として本会々員に限る．但し会員外の協同研究者を含むことは差支えない．

2. 報文の受理　編集委員会が報文を受理した日をもつて受理日と定める．尚受理報文は，原則としてすでに公の会で講演されたもので，未印刷のものに限る．特に日本海洋学会の年会又は月例会で講演されたものであることが望ましい．原稿には講演の年月日・会名・場所を附記されたい．

報文の原稿は，東京都杉並区馬橋 4ノ499 気象研究所海洋研究部内日本海洋学会誌編集委員会宛直送のこと．

3. 報文の用語　報文の用語は，和文（英文の要約を含む）又は欧文（原則として英語）の何れでもよい．

4. 原稿の書き方　報文は簡潔にわかり易く書き，図表を含めて**印刷頁で10頁以内**（和文では 400 字詰原稿用紙図表を含めて約45枚以内，欧文では通常のタイプライター用紙に，ダブル・スペース25行で，図表を含めて約25枚以内）を原則とし，それを超える時は，1 頁につき 1,500 円の実費を申受ける．**なお著者は必ず原稿の写しを保管しておくこと．**

原稿を書く時には，次のことがらに留意されたい．

（a）　和文原稿は，原稿用紙に読み易い字体で書き，欧文原稿は厚手の用紙にダブル・スペースでタイプすること．

（b）　報文の始めには，題名・著者名・所属機関名を明示すること．和文（英文）原稿では，之等の項目を英文（和文）でも附記すること．

（c）　和文原稿には，本文の始めに英文の要約を附すること．

（d）　図はそのまま版下になるように，黒インク又は墨で書くこと．図の大きさ（特に図の中の数字等）は印刷時の縮少を考慮して書くこと．

（e）　図及び表はなるべく少くしていただきたい．図 8 枚を超える場合及び特殊なものに対しては，実費を申受けることがある．

（f）　図及び表には必ず説明をつけ，和文原稿でも図表の説明は英文で書くこと．

（g）　数式は行を開けて，明瞭に書くこと．

（h）　引用文献は，報文の最後にまとめてつけ，和文の場合には通し番号をつけ番号順に，欧文の場合には，著者のアルファベット順に並べること．

（i）　人名（和文中の外国人名を含む）はスモール・キヤピタルを用いる．

（j）　論文の型式は第 12 巻以後の各号を参照して，之にしたがうこと．

5 編集　日本海洋学会誌の編集は，編集委員会で行う．編集委員会は，事情により原稿中の字句の加除訂正を行い，或いは著者に請求することがある．内容の如何によつては原稿を受理しないことがある．初校は原則として著者が行う．

6. 別刷　別刷は報文一編につき 50 部を無料で著者に進呈する．これ以上の部数に対しては，実費（送料を含む）を徴収する．

The Journal of the Oceanographical Society of Japan
Vol. 15, No. 1 March 1959

A Simplified Procedure for Determining the Normal Curve in Chrystal's Seiche Theory*

F. C. W. OLSON**

The theory of longitudinal seiches developed by CHRYSTAL (1905) is a brilliant and almost successful effort to reduce the problem of seiches in a natural lake of irregular contours and depths to a lake with mathematically tractable boundaries and depths. Certain restrictions, however, are implied in his treatment. They are necessary nontheless to obtain the so-called "normal curve" of the lake which constitutes a central feature of the CHRYSTAL theory. Although these restrictions cannot be made precise but depend rather on a "feeling" for the subject, they are natural, obvious and for the most part, give little cause for concern. To apply the CHRYSTAL theory, the following conditions should hold.

A map of the lake is available on which water depths are shown. This will be called (Map A). The lake is of such shape that it makes sense to speak of the two ends of the lake. These will be designated by E_1 and E_2. The two points E_1 and E_2 divide the shoreline into two parts which we can call shore A and shore B. It is possible to start from any point on shore A and draw a line perpendicular to the bottom contours. The line will always end on shore B. There will be only one maximum depth on this line. One can start at E_1 and draw a line connecting all such points of maximum depth and end at E_2. This line is the axis of the lake.

Obviously a lake satisfying these requirements can have no islands, peninsulas or bays, and it would therefore seem that the usefulness of the CHRYSTAL theory would be severely limited. The success of this theory over the past 50 years indicates otherwise and serves to give assurance that a "feeling" for the art of recognizing those features of lake topography which have little influence on seiches is not difficult to acquire. It must be emphasized, however, that up to the present, at least, there is little or no scientific basis for judgement in these matters.

The next step is to "rectify" the lake. CHRYSTAL says simply, "In order to submit the lake to calculation, its line of maximum depth is taken and laid out straight." Obviously, such a procedure will alter the bottom contours. In effect, we must now draw another map of the lake (Map B) which has a straight axis. The bottom contours and shoreline are drawn so as to distort Map A as little as possible. This procedure is more art than science.

For the remainder of this paper, only Map B will be used. A set of lines is drawn at approximately equal intervals

* Received Dec. 15, 1958.
** U. S. Navy Mine Defense Laboratory, Panama City, Florida.

perpendicular to the axis of the lake. These will be called "stations" and are numbered consecutively from E_1 to E_2. Distances along the axis are measured from E_1 toward E_2 and are designated by x. The breadth b of the lake, measured along a station line is a function of x and may be written $b(x)$. The next step gives some indication of the genius of CHRYSTAL. Instead of using x as a coordinate, he uses the area enclosed by the shoreline and the station line. This is measured from E_1 toward E_2 and designated by v.[1]

More specifically,

$$v(x)=\int_0^x b(x)\,dx.$$

The position of any station line can be given either by its distance x from E_1 or by the area v enclosed by the shoreline from E_1 to the station line.

The cross-sectional area S along each station line is next computed. This is the "wetted" area of a plane perpendicular to the lake surface and passing through a station line. The product of S and b forms the function σ. The graph of σ plotted against v forms the "normal curve" of the lake.

The periods and nodes of the seiche oscillation are given in terms of the various Solutions of

$$\frac{d^2P}{dv^2}+\frac{n^2P}{g\sigma(v)}=0$$

where g=gravitational acceleration

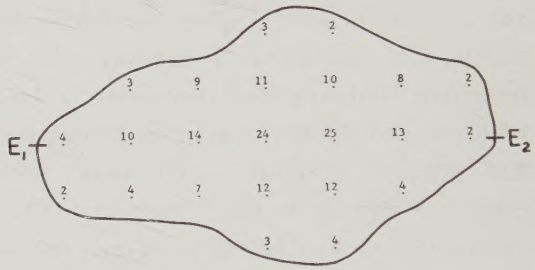
n=integer.

The most time-consuming aspect in the CHRYSTAL theory computations is usually the determination of the normal curve. A procedure will be described which greatly simplifies the work required to find the normal curve. It will be recognized as a modification of "A System of Morphometry" proposed by OLSON (1953).

1. The choice of v for a surface area is an unhappy one, but since it now has a firm place in the literature we shall adhere to custom.

Procedure

The simplified hypothetical lake shown in Figure 1 will be used to illustrate the procedure.



Station	1	2	3	4	5	6	7
	4	3	9	3	2	8	2
	2	10	14	11	10	13	2
		4	7	24	25	4	
				12	12		
				3	4		
b^*	2	3	3	5	5	3	2
S^*	6	17	30	53	53	25	4
v^*	2	5	8	13	18	21	23
σ^*	12	51	90	265	265	75	8

Fig. 1. Systematic Computations for "Normal Curve"

A square lattice is imposed on Map B with one line of lattice points falling on the rectified axis. Let us assume that the grid spacing in Figure 1 is 75 ft. The column of figures directly below the station numbers are the depths in feet at the lattice points in the station line. In the table below these figures, b^* is simply the number of lattice points in the station line, S^* is the sum of the depths at the lattice points, v^* is the cumulative value of b^*, and σ^* is the product of b^* and S^*.

Since the grid spacing is 75 ft, we have $b=75\,b^*$ ft as an estimate of the width b. To compute S, we note that the depths in

the table are true depths, therefore $S=75$ S^* sq ft. Recalling that each lattice point represents an area of $(75)^2$ sq ft, $v=(75)^2$ v^* sq ft. Similarly, $\sigma=bS=(75)^2b^*S^*=(75)^2$ σ^* cu ft. Plotting σ against v, we have the normal curve.

As in "A System of Morphometry," we may state that the "probable" error in v, S, v and σ is the reciprocal of the number of points involved. Thus, if $v^*=20$, the "probable" error is about 5 per cent. No mathematical analysis of the errors has yet been made. Some of the probability considerations are quite delicate and it would be a matter of considerable difficulty to determine precise criteria for the errors without doing violence to established statistical concepts. It is for this reason that we speak of "probable" error. These procedures have been tested with configurations of known properties and the conjecture that the "probable" error is less than the reciprocal of the number of points has always been reasonable.

References

1. Chrystal, G., 1905:
On the Hydrodynamical Theory of Seiches. Trans. Roy. Soc. Edinburg, Vol XLI, Part III, No. 25, pp. 599-649.
2. Olson, F. C. W., 1953:
A System of Morphometry. Contr. 21. The Oceanographic Institute, Florida State University (mimeographed) 20 pp.

Digitized by the Internet Archive
in 2025

https://archive.org/details/journal-of-oceanography_1959-03_15_1

The Journal of the Oceanographical Society of Japan
Vol. 15, No. 1 March 1959

津軽海峡西口における漂流瓶投入結果について（第2報）*

川 上 喜 代 四**

The Report of the Drift-bottle Experiments at the West Entrance of Tugaru Strait, Hokkaido, Japan (2)

Kiyoshi KAWAKAMI

Abstract: Succeeding to the 1st report, the results of drift-bottles experiments at the West entrance of Tugaru Strait, Hokkaido, Japan, which were carried out twelve times during April 1957 to March 1958, are summarized in this report. The main features are follows:—

(1) On the recovering of drift-bottles, "SUMMER TYPE" and "WINTER TYPE" were observed like in the 1st report.

(2) Three hundred and five drift-bottles were recovered (452 drift-bottles in the last experiments) and 53% of them were drifted to the coasts of the Japan and Okhotsk Sea (33% in the last experiments), 34% to the coast of Tugaru Strait (39%) and 13% to the coast of Pacific (28%).

(3) Seven drift-bottles were drifted during April to August to the coast of Okhotsk Sea where none drifted in the last experiments.

(4) The most of drift-bottles which dropped near the coast at the station No. 1, 2, 9 and 10 were recovered along the coast of Tugaru Strait and Pacific. But the most of drift-bottles which dropped off the coast at the station No. 3 to 8 were recovered on the coast of Japan Sea.

第1報に引続いて昭和32年4月から昭和33年3月まで毎月1回漂流瓶の投入を実施したので，その結果を第2報としてまとめた．投入点，投入本数，漂流瓶の構造等は前回と同一であり，投入毎の成果については第一管区海上保安本部発行の「海洋概報(昭和32年)号外」海流瓶による津軽海峡の海流調査報告書(II)に発表してある．

1. 投入及び拾得率

投入の際の位置誤差は最大4.1浬で，その97.5

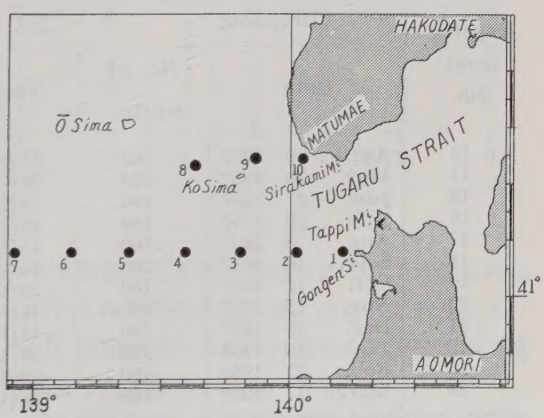


Fig. 1. Station where drift-bottles were dropped.

* 1958年11月19日受理.

** 第七管区海上保安本部, Hydrographic Division, 7th R. M. S. HQS, Moji.

%が3浬以内の誤差であり，前回の 94% に比較すれば投入の位置誤差は少なくなつている．

投入の実施期日及び拾得状況は第1表に示した通りである．拾得総数 304 本，拾得率 25.3% は前回に比して 48 本．12.3% の減となつている．然し月別に見れば第1報で指摘した「夏型」と「冬型」とがあり，投入点別に見れば第 1,2 点が多く．第9点が僅かに少なくなつている以外はほとんど同一の拾得率を示しており，この様な「型」は 前回と極めて類似した型を示している．

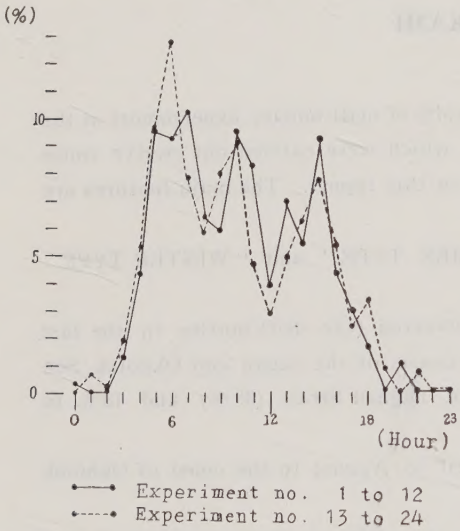


Fig. 2 Time when drift-bottles were recovered.

全拾得瓶についてその拾得時間を見ると．午前7時台が最高を示しており，その変化の状況は第2図の通りであつて，前回とほとんど同一である．

要するに拾得状況から見た場合，今回と前回とでは「型」の上では相似していると云う事が出来るが，「量」の点において相違を示している．

2. 漂着場所（第1表及び第2表）

全拾得数の 52.6% が日本海及びオホーツク海沿岸に漂着し，残りは津軽海峡に流入し，33.9% は同海峡内の沿岸に，8% は太平洋に出て北海道南岸に，5% は同じく太平洋に出て本州東岸に漂着している．

前回と比較して最も相違している点は，日本海沿岸に漂着したものが，津軽海峡に流入したものよりも多かつた事と，前回には全然漂着しなかつたオホーツク海沿岸に7本の漂着を見た事である．

（イ）日本海及びオホーツク海沿岸に漂着したもの

月別では8月が全拾得数の 8% で極端に少く，次いで1月が 25% で少ない．これに対し多いのは5月と3月で，これに次いで9月となつている．前回に比較して神威岬を越えて北上したものが多く，殊に宗谷海峡を通つてオホーツク海沿岸まで漂着している．又投入点の権現岬 270° 線より南

Table 1. Statistics on dropping and recovering of drift-bottles.

(a)

Experiment No.	Dropping Date	No. of bottles	No. and % (in brackets) of drift-bottles recovered Total	Coast of Japan Sea & Okhotsk	Coast of Tugaru Strait	South coast of Hokkaido	East coast of Honsyu
13	April 26 1957	100	31(100)	14(45)	13(42)	1(3)	3(10)
14	May 10 1957	100	26(100)	23(88)	1(4)	0	2(8)
15	June 27 1957	100	29(100)	18(62)	6(21)	5(17)	0
16	July 20 1957	100	46(100)	19(41)	16(35)	5(10)	6(13)
17	Aug. 8 1957	100	43(100)	4(9)	25(58)	14(33)	0
18	Sept. 16 1957	100	15(100)	6(40)	5(33)	0	4(27)
19	Oct. 12 1957	100	10(100)	8(80)	2(20)	0	0
20	Nov. 15 1957	100	18(100)	10(56)	8(44)	0	0
21	Dec. 20 1957	100	10(100)	4(40)	6(60)	0	0
22	Jan. 19 1958	100	16(100)	4(25)	12(75)	0	0
23	Feb. 21 1958	100	22(100)	16(73)	6(27)	0	0
24	March 17 1958	100	38(100)	34(89)	3(8)	0	1(3)
Total		1200	304(100)	160(53)	103(34)	25(8)	16(5)

(b)

Station No.	Dropping Position Lat.	Long.	No. of Bottles	No. of drift-bottles recovered Total	Coast of Japan Sea & Okhotsk	Coast of Tugaru Strait	South coast of Hokkaido	East coast of Honsyu
1	41–08	140–13	120	39〔33〕	8(21)	22(56)	6(15)	3(8)
2	41–08	140–02	120	43〔36〕	14(33)	26(60)	2(5)	1(2)
3	41–08	139–49	120	18〔23〕	19(68)	8(28)	0	1(4)
4	41–08	139–35.5	120	34〔28〕	20(59)	9(26)	5(15)	0
5	41–08	139–22	120	30〔25〕	22(73)	6(20)	0	2(7)
6	41–08	139–09	120	31〔26〕	24(77)	3(10)	1(3)	3(10)
7	41–08	138–55.5	120	25〔21〕	12(68)	7(28)	0	1(4)
8	41–23.5	139–38	120	28〔23〕	21(75)	3(11)	2(7)	2(7)
9	41–24.5	139–51.5	120	18〔15〕	2(11)	11(61)	2(11)	3(17)
10	41–25.5	140–03	120	28〔23〕	13(46)	8(29)	2(25)	0
Total			1200	304〔25〕	160(53)	103(34)	25(8)	16(5)

〔 〕　% to the number of drift-bottles dropped.
( )　% to the total number of drift-bottles recovered.

Table 2. Number of drift-bottles recovered in each region.

Experiment No.	Coast of Japan Sea and Okhotsk Sea				Coast of Tugaru Strait		Coast of Hokkaido				Coast of Honsyu	
13(April)	0	10	2	2	2	11	0	1	0	0	3	0
14(May)	1	18	2	2	1	0	0	0	0	0	1	1
15(June)	1	14	2	1	3	3	3	1	1	0	0	0
16(July)	0	6	12	1	15	1	5	0	0	0	4	2
17(Aug.)	0	3	0	1	24	1	9	4	1	0	0	0
18(Sept.)	0	6	0	0	0	5	0	0	0	0	3	1
19(Oct.)	0	8	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
20(Nov.)	0	10	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0
21(Dec.)	0	4	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0
22(Jan.)	0	4	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0
23(Feb.)	0	16	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0
24(March)	16	18	0	0	0	3	0	0	0	0	1	0

Station No.	South of Gongen	Gongen to Kamui	Kamui to Soya	Coast of Okhotsk	Coast of Hokkaido	Coast of Honshyu	Coast of Utiura Bay	Coast of* Iburi	Coast of Hitaka	Coast of Oshima	Siriya to Hachinohe	South to Hachinohe
1	8	0	0	0	7	15	4	0	2	0	3	0
2	8	4	1	1	12	14	2	0	0	0	0	1
3	1	18	0	0	2	6	0	0	0	0	1	0
4	0	17	2	1	4	5	3	2	0	0	0	0
5	1	15	4	2	5	1	0	0	0	0	2	0
6	0	20	4	0	2	1	0	1	0	0	3	0
7	0	10	6	1	1	6	0	0	0	0	0	1
8	0	19	1	1	2	1	1	1	0	0	1	1
9	0	2	0	0	4	7	1	1	0	0	2	1
10	0	12	0	1	6	2	6	1	0	0	0	0

* Except the coast of Utiura Bay.

の方に漂着したのは5月，6月と3月になつている．しかし5月に漂着したのは能登半島の門前町劒地であり，6月のは秋田県由利郡西目であつて，同時に同一点に投入したものが北上して神威岬からオホーツク海沿岸に漂着しているから，此等南に漂着したものは一度北上して日本海を反時計廻りして漂着したものと推定される．3月のものはいづれも権現岬から僅か南に漂着しており，G・E・K 観測で見られた時計廻りの反流によつて直接漂着したと推定される．

第1報で指摘した漂着地別を考慮に入れた「夏型」と「冬型」とは今回においては一層明確に見

られている．投入点別に見れば前回に比して津軽海峡に流入する海域と，しない海域とが判然とした．即ち沿岸の第 1，2 点及び第 9，10 点の日本海沿岸に漂着した率が 11～45% までなのに対して，その沖合の各点は 59～77% を示している．前回では日本海沿岸に漂着した率が 50% を越えたのは第 6, 7, 8 の 3 点に過ぎなかつた．

（ロ）　津軽海峡に流入したもの

拾得総数に対する比率から見ると 8 月と 1 月とに最も多く流入し，5 月，10 月，3 月とに少い．前回と比較すると周期がずれた様な型になつている．然し投入点別に見れば前回は第 4, 5 点が沿岸の第 1, 2 点と沖合の第 5, 6, 7 点との中間値を示していたが，本年は前述の通り沿岸寄りの第 1, 2 及び 9，10 点がその沖合のものとの間に明瞭な差をつけている．

a.　海峡沿岸に漂着したもの

海峡内に漂着した 103 本の中 45 本が北海道沿岸に，残りの 58 本が本州側に漂着しており，前回と同じ様に本州側に漂着するものの方が多くなつている．漂着地点は木古内附近と下北半島西側が多いが，前回に比して手前で，即ち西寄りで漂着するものが多くなつている．やはり前回と同じ様に両側に同時に漂着するよりは一方に漂着する傾向があり，北海道沿岸に漂着するのは 8 月まで，本州側に漂着するのは 4 月と 9 月以後が多くなつている．陸奥海湾の奥の横浜村には今回も 11 月に投入したものが漂着している．

b.　北海道南岸に漂着したもの

津軽海峡を流出して北海道南岸に漂着したものは拾得総数の 8%，25本で前回の 11%，49 本に比較すると少くなつているが，その漂着時期は 4 月から 8 月までの「夏型」に属する期間で，前回と同一である．又この時期は海峡内で北海道側に漂着する時期と一致している．投入点別に見れば第 10 点のものが最も多く，次いで第 1 及び第 4 点のものとなつており，最も沖合の第 7 点のものは前回に引続いて 1 本も漂着していない．漂着地としては内浦湾沿岸が 17 本で，68%を示し最も多くなつている．

c.　本州東岸に漂着したもの

海峡を流出して本州東岸に漂着したものは前回と同じ様に 9 月までの「夏型」の時に限られ，八戸以南まで漂流したものは 4 本，拾得総数の 1.3 %に過ぎず，前回の 28本，6.2% に対して著しく少なくなつている．そして前回は千葉県山武郡成東町まで南下したのに対し，今回は福島県相馬郡新地村に漂着したものが最も南にて発見されたものとなつている．

3.　流　　速

（イ）　日本海沿岸に漂着したもの（第 3 図）

月の平均流速について見れば，7 月と 11 月とが著しくおそくなつており，11月を除けば「冬型」の時の方が「夏型」の時よりも早くなつている．最高流速もまた 12 月から 3 月にかけて 1 ノットを越えている．前回と比較すれば平均流速には大差がないが，12 月から 3 月までの最高流速は今回の方が 0.5 ノット以上も早くなつている．投入点別に見れば沖合の第 3 点から第 8 点まではほとんど平均した流速を示している．

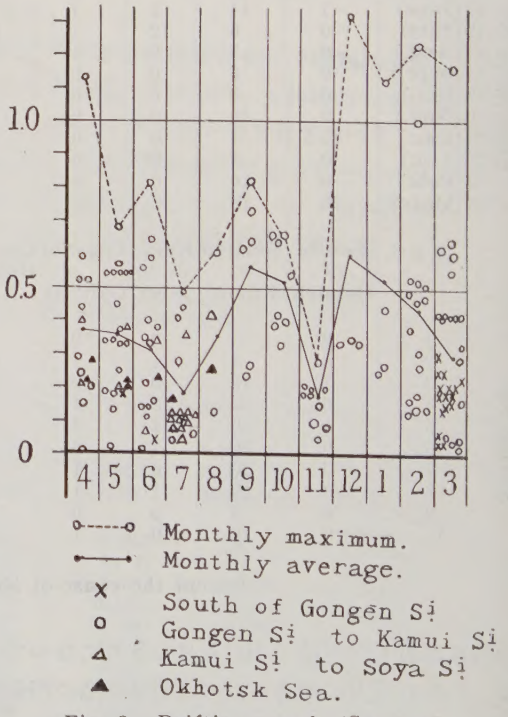


Fig. 3.　Drifting speed. (Coast of Japan Sea)

（ロ）　津軽海峡沿岸に漂着したもの（第 4 図）

月の平均流速を見ると 5 月が 0.06 ノットで最も

おそいが，此の月は僅か1本しか漂着していない．早いのは9月，10月と3月とで前回に比較すると最高流速を示す月が2ヶ月程づれている．投入点別に見ると第6点が最も遅く，第7,8,9点のものが早くなつている．最高流速について見れば，流速そのものについては前回と相違がないが，冬季の12月，1月の最高流速が著しくおそくなつている事は注目されねばならない．

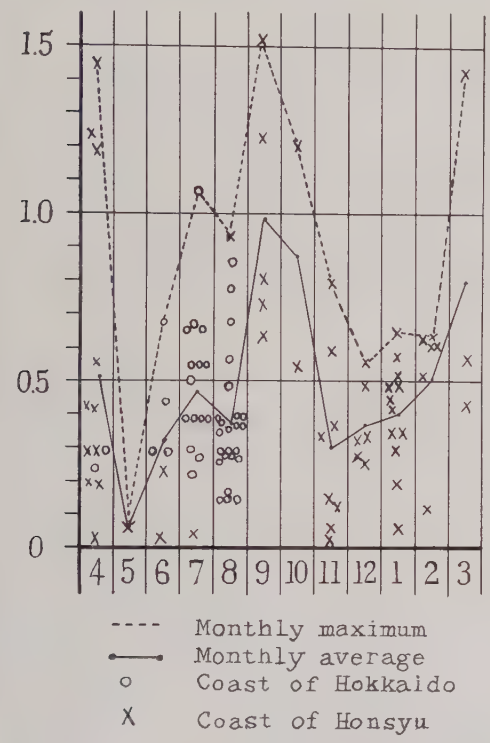


Fig. 4. Drifting speed. (Coast of Tugaru Strait)

（ハ）太平洋に流出して漂着したもの（第5図）

前回は9月をはさんで，その前と後とが相似的な流速の変化を見せたが，今回は9月以後太平洋沿岸には漂着していない．最高流速は7月の0.76ノットで前回に比較すれば同じ月ではあるが流速は0.23ノット遅くなつている．

4. 考　察

以上前回と比較しながら今回の結果をまとめたが，前回と比較して注目すべきことは

1. 前回に比較して拾得率が低くかつたこと．
2. 前回には全然漂着しなかつた北海道のオホーツク海沿岸まで漂着したこと．
3. 津軽海峡に流入したものが前回よりも少く，特に津軽海峡を通過して太平洋側に漂着したものが著しく少なかつたこと．
4. 津軽海峡に流入する方が多い投入点が沿岸より10浬沖合までの第1, 2, 9及び10点であつたこと．
5. 平均流速は日本海に漂着しているものが早くなつているのに対し，津軽海峡に流入したものは寧ろおそくなつていること．

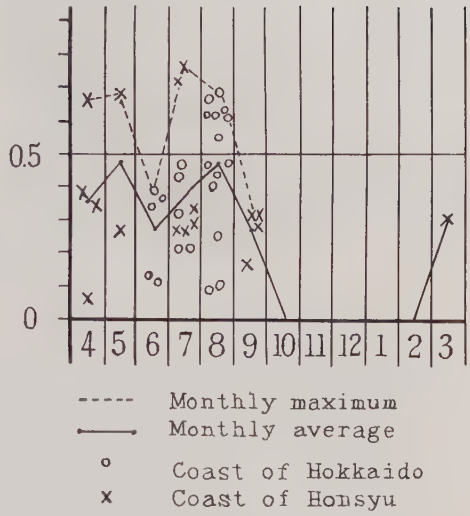


Fig. 5. Drifting speed. (Coast of the Pacific Ocean)

等であつて，これ等の事は対馬暖流の北上する勢力が強く，又沿岸寄りになつており，津軽海峡に流入して太平洋に張出して行く勢力が弱かつたと考える事によつて説明し得る様に思われる．

又第8,9及び10点，即ち津軽海峡西口の北側の各点は8月までは大体他の投入点なみに拾得されたが，9月以後はほとんど拾得されなくなり，3月までにこの3点で拾得されたものは総計僅かに12本で，投入総数210本に対し6%弱となり，今回の平均25%強に対し極めて低くなつている．此の3点は現地で白神潮と云われている北方より津軽海峡に流入する流を観測する目的で設定した点であり，前回には此の様な現象は認められなかつた．原因を推定し得る資料がないのでこれ以上判らないが注目すべき事と思われる．

第8次の投入（昭和31年11月30日）と第20

次の投入（昭和32年11月15日と）は共に投入前に低気圧が通過し，季節風が4日間連吹した後に行つたが，結果的に見れば第8次と第20次とは全く違つたものとなつており，抵抗板を附した場合には海流の性格をよく示すと云う事が出来る．

2年間に亘つて実施した漂流瓶実験の総括的な考察は一応これを以つて終りとし，別の機会に個々のものに対して潮流の影響，風の作用等を解析して見たい．

文　献

(1) 川上喜代四 “津軽海峡西口における漂流瓶投入結果について（第1報）” 日本海洋学会誌，13 (4)：131–137.

The Journal of the Oceanographical Society of Japan
Vol. 15, No. 1 March 1959

海面に現われる Slick について (第一報)*

岡　本　　巖**

Slicks on the Sea Surface. (Part 1)

Iwao OKAMOTO

Abstract: Sometimes white streaks or patches are seen on the sea surface. They look like white and in some cases glassy because of their damping effect of wavelets and are called "Slicks". Appearance, transformation, movement *etc.* of slicks were observed in Beppu Bay. They have some relations with the wind-velocity and wind-direction. It seems that slicks tend to be parallel with wind-direction and to diminish with the increase of wind-speed. Slicks are concerned with the distribution of organic substances in the sea water which are found coming originally from rivers and drains by the aid of Cons. O_2-Cl diagram. These organic substances damp out the ripple owing to their lowering effect of surface tension.

1. はしがき

海面はいわゆる'あおうなばら'で青いのが普通であるが，時によると白つぽい帯状や斑紋状のものが生じているのが見られることがある．それはこの部分には小波長の波がないため日光の反射の具合でそのような外観を呈するのであつて一般に"Slick"と呼ばれているが，漁師や海に接する機会の多い人であれば誰でも気につく現象であり，特に好条件のときに現われる長さ数 km にも及ぶ鮮明なものが生じている様は一種の異様な印象をさえ与える．また海に限らず池や湖に於てもよく見られる現象である．

然るにこの現象についての科学的考察はこれまで二，三[(1),(2),(3)] のほか殆どなされていないのは不思議な程である．筆者は主として大分県別府湾に現われるものの解明についていくらかの成果を得たのでここに第一報を報告する．

2. Slick の観測

1955 年 6 月から毎日 9 時と 15 時との 2 回気象の定時観測と同時に観測所の塔(距岸 1.8km, 標高 100 m) の上から Slick をスケッチしているが，1956 年 5 月までの 1 年間の記録を整理した結果次のような事実が明かになつた．

a) 形，大きさ，及び現われる位置

Slick の形は千差万別であるが概して細長いひも状や帯状のものが多く，それから枝を出したような形のものもしばしば見られる．また斑紋状のものが群をなして現われる場合も多い．小さいのは直径 10 数 m 程のものから大きいものには長さ数 km に達するものもあるが，形や大きさは風速と関係があるように思われる．(c) 以下参照)

別府湾では殆ど何処にでも現われるが，よく現われる位置はやはり定つている．それは沿岸附近であり，更にその沿岸の中でも河口や廃水溝口附近に殊に多い．

b) 変形と移動

Slick は程度の差こそあれ必ずその形が変つていくのであるが全体を通じての規則性は現在のところまだ明瞭ではない．また船舶の航行によつて Slick が切断される場合もしばしば観測されたが，数分後には復旧するのが通例である．

別府市高野山境内 (距岸 2.5 km, 標高 220 m) からの望遠鏡での観察によれば Slick の移動の速さは 0～5 m/min の程度である．尤も移動の速

* 1958 年 8 月 25 日受理.
** 京都大学別府地球物理学観測所, Beppu Geophysical Observatory, Kyoto University.

さといつてもそれ自身変形するし或は一部分が消失したり他の部分で新たに生じたりなどするから厳密な意味での速さではないが，この値はこの附近に於ける表層水の流速と大差はない．従つて将来 Slick の運動を観測することによつて水塊の運動を知る手がかりが或は得られるかも知れない．

c） 出現頻度と走向

Slick が現われるか否かに最も関係の深い因子の一つとして風速があげられるが，風速はまた細長い Slick の横たわつている方向と風向とが平行になるか否かを左右する因子でもある．第1表は1年にわたつて行われた約650回のスケツチと観測所塔上の風速，風向の自記記録とから作つたものである．但し．

Table 1. Frequencies of appearance and running direction of "Slick."

Notation \ Wind-speed m/sec	0	1	2	3	4	5	6	7
A (=A′+A″)	435	340	184	107	62	36	13	7
A′	171	157	125	89	53	32	12	7
A″	264	183	59	18	9	4	1	0
B	110	106	94	75	53	28	15	7
C	102	48	13	6	2	1	0	0
$A/A+B\times100$	80	76	66	59	54	56	46	50
$A'/A\times100$	39	46	67	83	86	89	92	100

(Notations show frequencies accumulated by a wind-speed.)

A: Slick appears.
A′: Slick runs parallel with wind-direction.
A″: Slick runs not parallel with wind-direction.
B: No Slick appears.
C: Indistinctness whether Slick appears or not.

観測時に於て Slick が一つ以上あれば A，全くなければ B，霧などのため存否不明のときを C としていずれも度数1と算える．なお度数はすべて風速に対する積算度数であつて，例えば風速2の列に記入してある数はそれぞれ風速 2 m/sec 以上の度数の和である．

Slick の走向はスケツチの判読によるものであるから当然誤差が含まれているであろうし，風向との差があつても僅少ならば平行とみなしているし，また風の記録は海面に於けるものではない等の理由で詳論はできないけれども次の2点は注目すべき事実であろう．すなわち Slick の出現率は平均8割であるが風速の増すにつれて出現しにくくなる傾向を示し 3 m/sec 以上では6割，6 m/sec を超えると5割に減少しているということと，走向と風向とがほぼ平行になる割合は平均4割であるが風速の増すに従つて増大する傾向があり 3 m/sec 以上では8割，6 m/sec を超えると9割以上の Slick が風向と平行になるということとである．

3. Slick と有機物分布

海面には一般に大小さまざまの波が混在するが Slick には波長数 cm 以下のさざなみがない．この種の波を支配する重要な要素の一つが水の表面張力であることは周知の通りである．海水の表面張力は温度と塩分の函数として知られているが[4]，温度 10°C につき 3%，塩分 10‰ について 0.3 %の差を与えるにすぎない．然し若し有機物質が含有されているならば幾割にも達する減少の起ることは極めて容易である．一方 Slick が廃水溝口や河口附近にしばしば現われることは既に述べ

た通りであるが，両者をあわせ考えれば Slick は廃水の有機物質にもとずくことが予想されるのである．

海水中の可溶性有機物の分布については従来種々の観点から研究がなされているが[5]，Slick が今日まで殆ど研究の対象となつていない程であるからこれらはいずれも Slick との関連に於て行われたものでないことはいうまでもない．以下において有機物分布と Slick との関係を示す 2, 3 の例をあげ，且つそれらの有機物が主として陸水に起因することを指摘する．なお海水中の可溶性有機物量は一般に過マンガン酸カリウムによる酸素消費量として表わされるが，ここでも海洋気象学会編「海洋観測法」の該定量法に従つた．

例 1.　第 1 図は関西汽船別府桟橋の北隣にある小港に於ける海水表面の塩素量と有機物量の分布を示す．一見して両者の分布は非常によく似ているが，更にこれらを両軸にとつて各点をプロットしてみると（第 2 図）密接な相関のあることが明かになる．すなわち港内の水は元来低塩分で有機物の多い陸水と高塩分で有機物の少い海水との 2 つの固有な水塊があつて，これらの混合によつて生じたものと考えられる．現にこの附近における廃水の有機物量は 3~7 mg/l に及ぶからである．水塊の分析にはしばしば T—S ダイヤグラムが用いられているが，現在の場合には Cons. O_2–Cl ダイヤグラムもまた水塊分析の適切な一方法

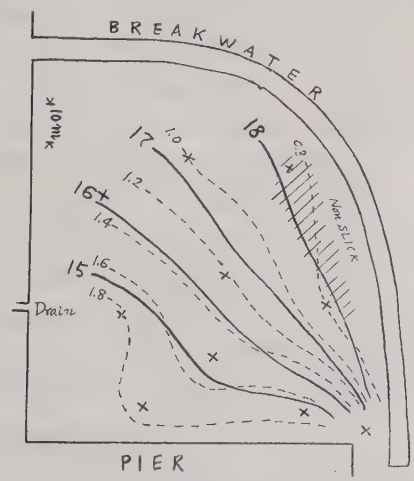


Fig. 1.　Distributions of chlorinity (‰) and consumed-oxygen (mg/l) in Beppu Harbor.

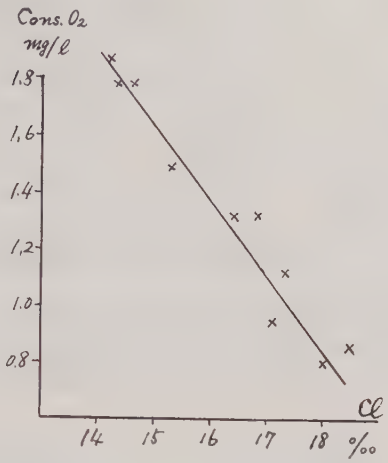


Fig. 2.　Cons. O_2–Cl diagram in Beppu Harbor.

であるといえよう．

観測時中港内は全域にわたつて Slick の状態であつたが，時々（風速がある程度以上に達したとき）斜線で示された Non Slick の部分にさざなみの立つのが観察されたが，この部分は有機物の少い水域に相当している．

例 2.　第 3 図は別府港附近の 0m, 0.5m, 1m

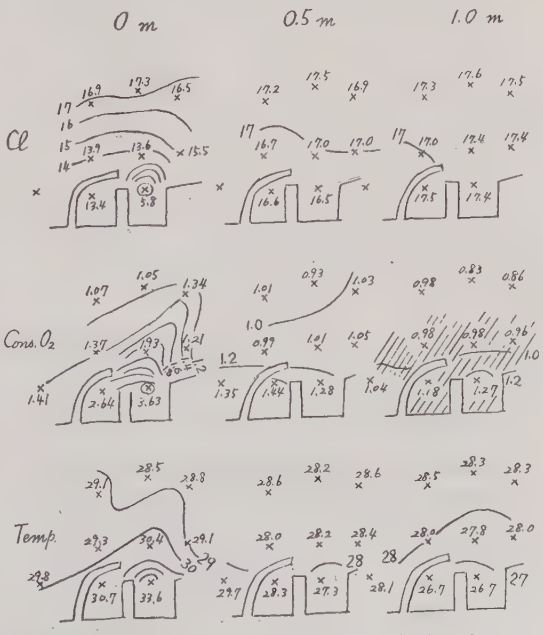


Fig. 3.　Horizontal distributions of chlorinity (‰), consumed-oxygen (mg/l) and temperature (°C) at the various depths along the coast of Beppu.

の各深さに於ける塩素量，有機物，及び温度の水平分布を示す．表面に於ける三者の分布の相似性は第1図ほどではないにしても陸水と海水との混合の様子は充分うかがえる．ただここに注目すべきは3つの要素ともに表面と 0.5 m との間に著しい不連続があつて陸水の影響は殊に表面に於いて顕著であることである．Slick が水の表面張力の差異に起因するものであれば，このような条件は Slick の発生にとつて好都合であろう．

深さ 3 m 及び 5 m における値をも加えて作つた Cons. O_2–Cl ダイヤグラムが第4図である．

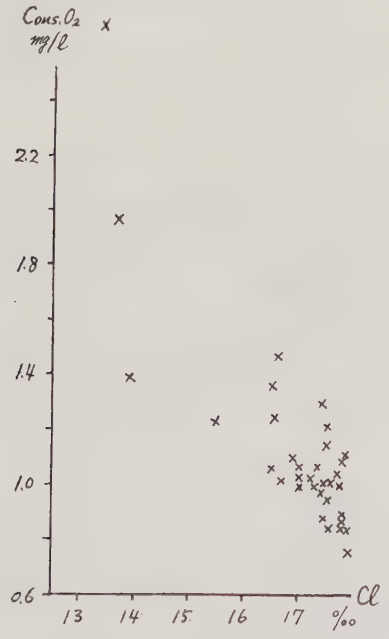


Fig. 4. Cons. O_2–Cl diagram along the coast of Beppu.

点はばらついているが Cl 18‰, Cons. O^2 0.8 mg/l の附近に収斂するようである．これは廃水に有機物含量を異にするものが種々あるのに対して海水は同一であるのにもとずくと思われる．

観測を始めた頃には第3図の斜線で示した所が Slick であつたけれども当日は静穏な日であつたのでその後この附近一帯は終始 Slick であつたから，有機物の分布との対応を知るには不適当であつたが，このあたりは Slick の出現頻度の最も高い水面であるから有機物の定常的な分布を知る意味で重要である．

例 3.　朝見川河口より北東にのびる細長い Slick をえらび，Slick 上とその両側の Non-Slick 上とで表面の有機物等を測定した（第5図）．

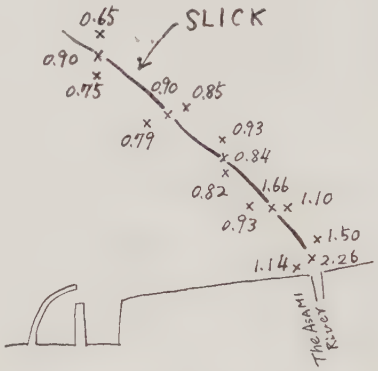


Fig. 5. Consumed-oxygen (mg/l) on the slick.

温度と塩分は河口附近の数点を除けば大体一様であつたから図には省略してある．有機物量は河口附近で最大で河口を遠ざかるに従つて減少しているから朝見川に由来するのであろうが，温度と塩分の一様な分布からみて海面をうすいフイルム状に延びたものではないかと思われる．Slick の各横断線では Slick の上がその両側におけるよりも有機物の多いことは認められるけれども，有機物の多い所が必ずしも Slick になつてはいない．この点に関しては有機物分布と表面張力との関係を明かにしなければならないが，次報で述べる予定である．

ここに，御指導と御激励を賜わつた京都大学速水頌一郎教授に深謝の意を表明する．

文　献

(1) Langmuir, I., 1938:
"Surface motion of water induced by wind." Science, **87**, 119.

(2) Ewing, G. C., 1950:
"Relation between band slicks at the surface and internal waves in the sea." Science, **111**, 91.

(3) Dietz, R. S. and Lafond, E. C, 1950:
"Natural slicks on the ocean." Reprint from Sears Found. Journ. Mar. Res.

(4) Krummel, O., 1907:
"Handbuch der Ozeanographie", Bd. I, 280.

(5) 例えば　松平康雄，1931:
"海水中の可溶性有機物に就て". 海と空, **11**, 32.

The Journal of the Oceanographical Society of Japan
Vol. 15, No. 1 March 1959

本邦内湾の海洋化学的研究（第 5 報），塩類組成の変動と海況との関係（その 3，浦之内湾について）*

山　本　広　志**

Oceanographical Studies on Japanese Inlets (5), Relations betwecn Variation of Chemical Compositions and Hydrographic Conditions in Uranouchi Bay (Part 3)

Hiroshi YAMAMOTO

Abstract: The author has studied two of the chemical ingredients of inlet water, calcium and magnesium, and tried to see the variation they show according to the difference in characteristics of various inlets.

1. The chemical composition of inlet water is subject to variation according to the features of different inlets, and the variation is regular in each inlet.
2. In the water of such inlets as are noticeably diluted by land water, a great variation is caused by the difference in hydrographic conditions.
3. In stable and stagnant inlets, Mg/Cl is more remarkable than Ca/Cl as the indicator element of a water mass.
4. The chemical composition of sea water in inlets varies according to the chemical elements and the state of mixing of different water masses.

1. 緒　　言

前報[1]までは陸水の混合が甚だ活潑に行われるものと思われる内湾での測定結果について述べてきたが，陸水の流入が僅少であり，しかも外海水との直接的な混合が活潑でない内湾では，主として降雨による稀釈と日照による蒸発が濃度の変動に関しては大きな要因となるであろうと思われるが，湾内での生物による消費，堆積物としての沈積状況，及びそれらから海水への溶出等の諸現象も前報迄の内湾とは違つた様相を呈するものとみられる．従つてこの様な内湾では安定した海水の停滞状態でどのように各塩類の塩素比が変るものであるかについて明らかにすることが出来ると考えられる．

われわれは比較的湾口が狭く，極端に入り込んでいるために外海水の直接的な影響が少なく湖沼的な性格を有するものとみられる浦之内湾に於いて第 3 報，4 報と同様にカルシウム及びマグネシウムの塩素比を測定して考察すると共に，本報迄に測定した種々な内湾のカルシウム及びマグネシウムの塩素比を比較することによつて総括的にその海洋化学的意味を研究し塩素比の変動が内湾の特性によつて特意的であることを知つた．

2. 浦之内湾の地形的概況

本湾は宮地[2]等の外多くの研究者[3]によつて生物学的見地から研究がなされその概況についてもしばしば報告されているが，ここでもその概況を述べる．

浦之内湾は東西に横たわる細長い半島によつて外海と隔てられた内湾で面積は略々 10.05km² と

* 1958 年 7 月 30 日受理．
** 高知大学教育学部化学教室，Chemistry Institute, Faculty of Education, Kochi University.

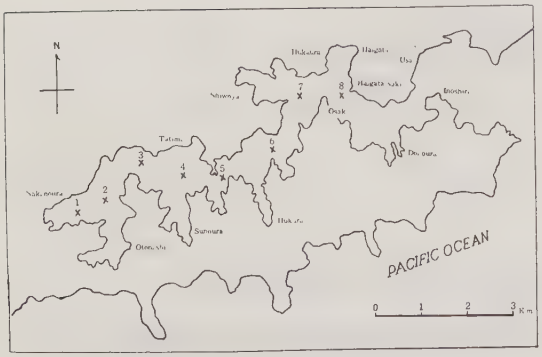


Fig. 1. Observational stations in Uranouchi Bay.

され，井尻(INOSHIRI)から湾奥迄は延長約 10km である．周囲は山に囲まれ平地が少なく流入河川は殆んどないため，河川による海水塩分の稀釈や有機物流入による汚染等は全くみられない．深度は一般に湾口が浅く大崎から井尻にかけて干潮時には干潟となる．中央部の深浦(HUKURA)，立目(TATIME)では 15 m でこれより次第に浅くなり湾奥では 6 m 程度である．このように湾口が浅いために，大崎以東では潮流の影響が甚だ大きい．湾内に深く入ると海水は殆んど停滞して，夏季に顕著な成層がみられる．本湾の海洋条件としては特に降雨の影響に注意しなければならない．

3. 分析の結果とその考察

1957年 6 月に湾内 14 点で採水した 70 の資料についてカルシウム及びマグネシウムの分析を行つた．分析の方法は前報と同様である．分析の結果

Table 1.

St.	Depth m.	Temp C°	Cl g/l	Ca mg-atoms/l	Mg mg-atoms/l	Ca/Cl	Mg/Cl
[1]	0	28.3	17.04	9.31	46.39	0.02190	0.06621
	1	27.9	17.57	9.51	48.09	0.02169	0.06657
	2	26.3	18.21	9.80	49.61	0.02157	0.06626
	3	25.8	18.38	9.90	49.93	0.02159	0.06607
	4	25.6	18.42	9.92	50.15	0.02158	0.06611
	5	25.4	18.45	9.95	50.18	0.02161	0.06615
	7	24.6	18.41	9.91	50.10	0.02157	0.06619
[2]	0	28.2	17.00	9.25	46.54	0.02181	0.06658
	1	28.2	17.14	9.31	47.03	0.02177	0.06672
	2	26.3	18.02	9.79	49.05	0.02177	0.06620
	4	25.7	18.41	9.95	50.06	0.02166	0.06613
	6	25.4	18.45	9.97	50.30	0.02170	0.06629
	8	24.8	18.45	9.96	50.23	0.02164	0.06621
	10	24.4	18.42	9.99	50.19	0.02169	0.06627
[3]	0	27.9	17.14	9.30	46.85	0.02175	0.06648
	1	27.9	17.40	9.44	47.62	0.02174	0.06656
	2	27.7	18.02	9.72	49.09	0.02161	0.06625
	6	25.6	18.52	10.02	50.33	0.02168	0.06609
	8	25.1	18.53	9.97	50.29	0.02156	0.06600
	10	24.8	18.57	10.00	50.41	0.02158	0.06602
	13	24.2	18.59	10.04	50.55	0.02165	0.06613
[4]	0	27.8	17.28	9.43	47.26	0.02187	0.06652
	1	27.7	17.38	9.46	47.47	0.02182	0.06643
	4	26.3	18.51	10.00	50.07	0.02165	0.06679
	6	26.0	18.59	10.06	50.59	0.02170	0.06625
	8	25.6	18.62	9.92	50.81	0.02135	0.06638
	10	25.0	18.61	9.99	50.59	0.02144	0.06612
	12	24.9	18,64	10.05	50.75	0.02161	0.06621
	15	24.1	18.61	10.04	50.67	0.02166	0.06622
[5]	0	28.0	17.49	9.42	47.85	0.02159	0.06654
	1	27.5	17.64	9.55	47.90	0.02170	0.06604
	2	26.8	18.24	9.87	49.81	0.02169	0.06641
	4	26.4	18.57	10.00	50.38	0.02158	0.06598
	6	25.8	18.64	10.09	50.80	0.02170	0.06627
	8	25.8	18,74	10.12	50.95	0.02164	0.06612
	10	25.5	18.76	10.13	50.88	0.02164	0.06596
	14	24.5	18.76	10.13	50.85	0.02164	0.06592
	19	24.7	18.86	10.15	51.19	0.02164	0.06601

St.	Depth m.	Temp C°	Cl g/l	Ca mg-atoms/l	Mg mg-atoms/l	Ca/Cl	Mg/Cl
[6]	0	27.5	17.23	9.31	47.02	0.02166	0.06637
	1	27.6	17.83	9.62	48.76	0.02162	0.06650
	2	27.1	18.33	9.82	49.93	0.02145	0.06625
	4	26.4	18.64	10.02	50.71	0.02155	0.06616
	6	26.1	18.76	10.16	50.99	0.02171	0.06610
	15	25.1	18.83	10.13	51.17	0.02156	0.06609
	18	25.2	18.99	10.16	51.46	0.02144	0.06591
[7]	0	27.6	18.00	9.77	49.11	0.02175	0.06635
	1	27.0	18.45	9.99	50.23	0.02170	0.06621
	2	26.6	18.60	10.05	50.68	0.02166	0.06627
	6	26.3	18.69	10.11	50.65	0.02168	0.06591
	8	26.2	18.66	10.10	50.75	0.02169	0.06614
	10	26.0	18.74	10.10	50.81	0.02160	0.05594
	13	25.3	18.86	10.19	51.43	0.02166	0.06632
[8]	0	26.3	18.64	10.03	50.93	0.02159	0.06645

は第1表にあげた．本湾の塩素量は 17～19‰ の範囲にあるので塩素比の値も浦戸湾や須崎湾の如く顕著な変動はみられない．まずカルシウムの塩素比についてみると各採水点共特異的な変化はみられなく，全般的には塩素量 17‰ 以上の場合を比較すると，Ca/Cl では浦戸湾，須崎湾より僅かに高く，Mg/Cl では僅かに低い結果を得た．この様に本湾に於けるカルシウムの塩素比が高いことの原因は明らかではないが，停滞状態にある本湾の性格からみて種々な状態でカルシウムが蓄積されているためであるかも知れない．

マグネシウムの塩素比については，浦戸湾や須崎湾の如く塩素量に対応する塩素比の関係をみると，湾口と湾奥とでは変化のしかたが異るので，全般的な傾向として論ずることは出来ない．それ故，これを詳細にみるため各地点別に塩素量及び Mg/Cl の垂直的変化を第2図に示した．即ち，塩

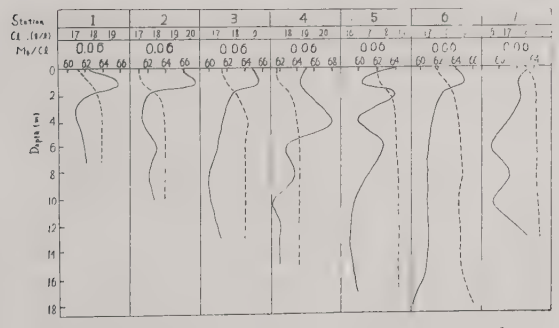


Fig. 2. Relation between chlorosity and Mg/Cl at each station.
---- Chlorosity —— Mg/Cl (July, 1, 1957)

素量では各採水点共同様な傾向を示し，成層は 1～2 m に形成している．これに対し Mg/Cl は湾奥附近と地点6では 1 m 附近で極大があらわれ，漸時減少して或る深度で極小となり再び増加する傾向を有する．この極小のあらわれる深度については明らかな傾向はみられないが，水深と関係を有するもののようにみえる．本湾に於ける海水の循還範囲は現在迄の測定結果から湾口から深浦附近までであると考えている．従つてこれより以西の区域では殆んど停滞状態である．このことは Mg/Cl の垂直分布にもあらわれていて，比較的安定した水域では採水点 1, 2, 3 点の如き分布を示すが，異水塊の混合と共にこの関係はくずれ Mg/Cl の分布も不規則になる傾向がある．然しながら，或る程度混合が進んでくると地点6の如くになり，再び外海水との接触によつて Mg/Cl の変動が甚だしくなる．即ち，常に不安定な状態の水域では Mg/Cl の変動は不規則となる．

これらのことから，停滞状態にある内湾では，Ca/Cl の変動よりはむしろ Mg/Cl の変動の方が水塊の指示要素として興味がある．

4. 内湾の海況差による Ca/Cl と Mg/Cl の差異

第3報，4報及び本報での結果を総括的に以下で考察する．

カルシウム及びマグネシウムと塩素量の関係は外海水に近い 19 Cl ‰ から陸水に近い極めて低濃度の水に至るまで一つの直線上に分布することについては既に述べた通りである．従つて，同じ海況下の海水では塩素量によつて概略的にカルシ

ウム及びマグネシウムの量を求めることも出来る．然し異つた海況下では海水の混合の過程を通じてカルシウム及びマグネシウムに消長の差異があるためそれらがどのような変化をするかについては塩素量に対応する塩素比をプロットする方が便利である．そのために組成の変動についての考察は特別の場合を除いてこのような方法によつた．

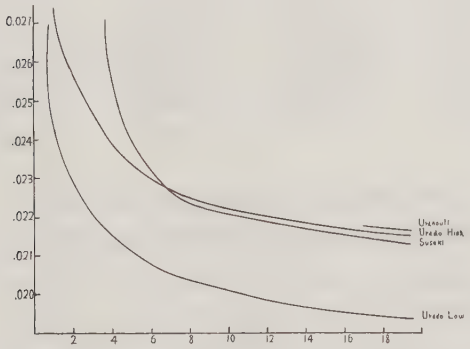


Fig. 3.　Relation between chlorosity and Ca/Cl in each inlet.

ここでカルシウム及びマグネシウムと塩素との関係をそれぞれ近似的に一次式が成立つものとすれば，カルシウムに例をとると，

$$Ca = a \cdot Cl + b \cdots\cdots (1)$$ となり

従つて　$$Ca/Cl = a + b/Cl \cdots\cdots (2)$$ となる

a は海水中の塩素量及びカルシウム量が変化する場合の定数で，b は Cl 量が極めて小さい場合に相当するカルシウム量であつて，この場合は河川水中のカルシウム量と一致する．

従つて (2) 式から明らかな如く，Cl が稀釈されてゆくに従つて Ca/Cl の値は大となり，一つの曲線上に分布する．故に全く海水成分間に組成の変動がみられなくともこのような曲線となり得るが，b の値即ち，流入河川水より供給されるカルシウム量の変化があれば当然のことながら Ca/Cl 曲線の形態が異なり須崎湾と浦戸湾を比較した場合の如くになる．

もしも同じ塩素量に対してカルシウムの含量が異るなどの組成上の変動があれば a の値が異るために Ca/Cl の曲線はその高さを異にすることとなる．浦戸湾はこのように組成の大きな変動がみられる．然し第 3 報でも述べた様に 1 日の朝汐に於てもこの曲線の示す値からはなれた値が得られる筈であるが，現在までの測定ではそのような測定値は得られなく a の値を異にする曲線上にすべて分布されたためにこれらの曲線の移行は比較的長い周期でかわるものであろう．

Mg/Cl についてもカルシウムの場合と同様のことが云える．ただ陸水からのマグネシウムの供給が少ない上に海水中のマグネシウムが多いためか浦戸湾のカルシウムの如く海況差による顕著な差異はみられなかつた．

終りに臨み本研究に御懇篤な御指導を賜わつた京都大学石橋雅義教授に深甚の謝意を表すると共に御協力下さつた当教室の今井嘉彦氏に感謝の意を表する．

文　　献

(1)　山本広志，1958：
“本邦内湾の海洋化学的研究”　第 3-4 報　日本海洋学会誌，**14**，155～161.

(2)　宮地伝三郎外，1944：
“浦之内湾に於ける内湾度と潮間帯並び底棲群聚との関係”　日本海洋学会誌，**3**，207

(3)　植田　穂，1949：
“浦之内湾の研究”　日本水産学会誌，**15**，190.

The Journal of the Oceanographical Society of Japan
Vol. 15, No. 1 March 1959

本邦内湾の海洋化学的研究（第6報），浦戸湾に於ける酸素消費作用について（その 1）*

山　本　広　志**

Oceanographical Studies on Japanese Inlets (6, On the Consumption of Dissolved Oxygen in Urado Bay (Part 1)

Hiroshi YAMAMOTO

Abstract: In order to identify the factors which govern the dissolved chemical constituents of sea water, the author has measured the ignition loss of bottom mud and the consumption of dissolved oxygen, His findings are as follows:—

1. Relative analysis of ignition loss and consumption of dissolved oxygen shows that the two have a rational relation.
2. It is inferred therefore that the consumption of dissolved oxygen is effected mainly by inorganic colloids and organic humus colloids which are carried in by land water.
3. The degree of consumption of dissolved oxygen is larger in the middle of the inlet than at the mouth of the river, for which the various properties of the sediment of floating matter seem to be responsibles.

1. 緒　言

海水の溶存化学成分と堆積物との間には一連の物質循環系をなしていることが知られ，海水に於ける生産力の要素を究明する上に大きな意義を有するものであり，環境要因としての水底土の研究は各方面で多くの研究がなされている．また海水の生産力の測定に当り放射性元素を使用する方法の他は，従来主として溶存酸素及び全炭素などをもとにして行われてきたが，水中での溶存酸素は堆積物の酸化作用の主要をなしていると考えられ，内湾の如く，停滞循環等の度合が種々異なる環境では特に溶存酸素の消費作用を重視しなければならないと思われる．

海洋堆積物を対象とするこれら溶存酸素消費作用については多くの報告[1][3]があり，その意義並に要因等についても詳細な検討が行われて生物や酵素並に細菌などと共に無生物要素によつても多量の溶存酸素が消費されることを指摘している．

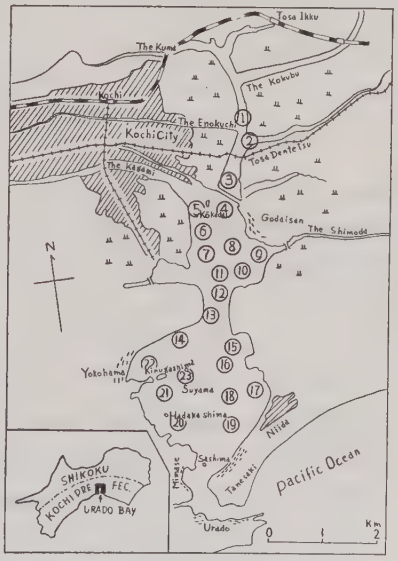


Fig. 1. Observational situations in Urado Bay.

著者等は海水の溶存化学成分を支配する要因として，海でしかも陸水の影響が著しい浦戸湾に於て水底土による酸素消費量を測定した．なお溶存酸素の分布についても考察したのでその結果につ

*1958 年 9 月 5 日受理.
**高知大学教育学部化学教室，Chemistry Institute, Faculty of Education, Kochi University.

いて報告する．

2. 研究方法

溶存酸素消費作用に関する実験については奥田，加藤により詳細な検討がなされているが，本湾の如き多量の有機物を含有する試料などは特にその供試料等を充分検討する必要があると思われたので本実験に先立つて予備的実験を試み本実験の諸条件を定めた．

実験の方法は 250 cc 容の試薬瓶に試泥（湿泥）をとり基礎水として汚染の少ない外海の表面水を空気の残らぬように満し，密栓して 50 回宛手で強振後 28.0° ± 0.01°C の恒温槽中に 24 時間静置せしめた．その後上澄液をサイフオンで酸素定量用瓶に移し，WINKLER 法により溶存酸素を定量してあらかじめ測定しておいた基礎水の酸素量より減じて試泥 100 cc に対する酸素の消費量を算出した．

方法の検討

本法に於て特に注意しなければならないことは奥田，加藤[3]も指摘しているように供試量と振盪の条件である．浦戸湾の堆積物は特に有機物等を多量に含有しているために，溶存酸素の消費もはなはだしくその適量を決定するために次の様な実験を行つた．即ち種々な量の試泥を遠心分離によりセミミクロ用試験管に採取し供試量を知ると共にその溶存酸素消費量を測定して次の様な結果を得た．

Table 1.

250 cc bottle 50 times with hand vibration		500 cc bottle 50 times with hand vibration		500 cc bottle with vibrater 1 hour	
Sample cc	Dissolved oxygen cc/g	Sample cc	Dissolved oxygen cc/g	Sample cc	Dissolved oxygen cc/g
1	2.06	1.05	2.22	1.40	1.16
2	1.95	2.00	3.17	2.43	1.79
3	2.31	—	—	2.90	1.97
4	2.61	3.00	4.03	4.31	2.41
5	2.61	4.40	4.85	5.55	2.60

これからも判るように供試量の増加と共に消費量も増大するが単位当りの消費量は逆に減少する．このことは供試泥土の単位表面に対する基礎水の接触が異なつてゆくことに起因するものとみられる．そこで 250 cc 容及び 500 cc 容の試薬瓶を用いて供試料と消費量の関係について検討したところ，いずれも一定量の資料についてのみ比較し得ることを確めたので 250 cc 容の試薬瓶を用いて試泥 1 ± 0.2 cc の範囲に於て比較することとした．試泥 1 ± 0.2 cc の範囲で測定するならば，供試量の変動が測定誤差の範囲内にあることを確めた．又供試量がこれよりも大きい場合は24時間以内に全ての溶存酸素を消費し尽し測定出来ない場合があり，且つ接触表面積の減少や装置などを考慮して供試量を定めた．溶存酸素の測定は WINKLER 法によつた．

3. 結果及び考察

a. 溶存酸素の分布

本湾に於ける溶存酸素は底質及び浮遊物等による酸素吸収が大きいのにかかわらず，比較的大きい値を示している．これは流入する河川水の影響で多量の溶存酸素を含んだ水が流入するためであると思われる．従つて夏季の停滞期に於いても溶存酸素の欠乏する如き現象は見出されなかつた．然しながら湾内で停滞する様な区域では，底層での酸素欠乏が著しく，還元性物質の成生などがみられる．

第2表には 1956. 5. 6 の溶存酸素の測定値を挙げた．これによれば，垂直分布は一般に表層附近での酸素飽和量は，海水の流動状況によつて著しい差異がみられ，張潮時には流入河川から運ば

Table 2.　　Mar. 15. 1956

St.	Depth	Water Temp °C	Cl ‰	Dissolved Oxygen cc	Degree of Saturation
(11)	0	13.6	12.40	5.09	78
	1	13.5	15.92	5.61	90
	2	14.8	17.63	5.82	98
	3	15.2	18.26	4.83	82
	4	15.1	18.60	4.38	74
(16)	0	13.9	13.52	5.45	85
	1	14.7	15.92	5.60	91
	2	14.8	17.24	6.08	101
	3	15.1	18.12	4.95	83
(19)	0	15.3	15.65	4.82	81
	1	15.4	16.95	4.82	81
	2	15.4	17.59	5.60	94
	3	15.6	18.02	4.89	84
	4	15.6	18.45	4.58	78
	5	15.5	18.67	4.31	73
	6	15.4	18.73	3.86	61

れた浮遊物による酸素消費のためか飽和量は減少し，落潮時は浮遊物の増加はあつても供給される溶存酸素が大きいためか飽和量は比較的大きい．深度の増加につれては次第に飽和量が増大し 1～1.5 m の不連続層附近では多くの場合過飽和となるがこれ以深では急激に減少する．これの原因については種々考えられるが[3]，本湾の場合は主として不連続層附近での無機成分の酸化還元作用に起因するものでないかと思われるが，この点に関しては今後尚検討する考えである．

b. 底質堆積物の灼熱減量及び溶存酸素消費量

第3表に示した如く灼熱減量は湾奥部ほど大き

Table 3. Data of analysis.

* The situations where rational results are not recognized in the relative analysis between oxygen consumption and ignition loss.

St. No.	Ig-Loss %	Oxygen consumtion	St. No.	Ig-Loss %	Oxygen consumption
1*	14.93	2.4	13	8.98	3.0
2*	16.29	2.0	14	9.28	3.9
3*	13.92	1.8	15	5.92	2.4
4	15.95	5.6	16	7.99	2.0
5	10.34	3.6	17	10.71	2.5
6	8.38	3.4	18	10.89	3.9
7	13.43	4.6	19	7.56	2.3
8*	19.15	3.9	20	8.17	2.7
9*	15.48	2.9	21*	8.59	1.8
10*	15.11	3.0	22	6.88	3.0
11	13.80	4.5	23	7.74	2.3
12	10.60	3.3			

く湾中央の狭少部から湾口にかけては小さくなつている．また湾の周辺の停滞するような地域でも灼熱減量は僅かに大きい値を示す．これは恐らく，底質中の有機物や粘土鉱物等の含水珪酸塩等が多いためと考えられる．このことは，溶存酸素消費作用についても云えることで，河口附近の底質は灼熱減量の割合に酸素消費量が大きくない．即ちこれら灼熱減量の大部分は酸素消費にあづからない微細な粘土類であることが推察され，同時に酸素消費にあづかる諸物質は，河口附近よりも更に

湾内に流入して堆積したものに多いことが知られる．このように酸素吸収に関して特殊な組成を示すものと思われる河口附近の資料を除いた湾内の資料について灼熱減量と溶存酸素消費量との相関分析を行つたところ第2図に示す如く有意性が認められた．

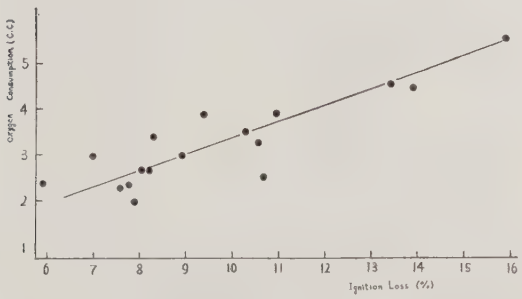


Fig. 2. Relation between oxygen consumption and ignition loss.

$$t > t_0,\ t_0 = \begin{cases} 3.0122 \cdots\cdots 0.01 \\ 2.1602 \cdots\cdots 0.05 \end{cases}$$

従つて河口附近の特殊な地点を除けば，灼熱減量の大半が腐蝕膠質と呼ばれる状態の有機質や無機性膠質などによるものと考えられるので，溶存酸素消費の程度はこれら膠質物の多少に支配されるものと思われる．

4. 結　語

以上のことから浦戸湾の溶存酸素消費作用の主因は陸水によつて運ばれる無機性膠質物や有機質の腐蝕膠質と考えられ，河口附近よりもむしろ湾内に入つてから溶存酸素の消費作用が大さくなることが判明した．これらは多分流入河川の流動状況や，浮遊物に対する電解質の沈積を促進する効果が潮汐の影響により異つてくるものと思われ，従つて地点によつて沈積の状況が異なり，溶存酸素消費の程度も異るものと考えられる．

この事に関しては次報に於て述べようと思う．

終りに臨み御懇篤な御指導を賜つた京都大学理学部石橋雅義教授に深謝すると共に御協力下さつた当教室の今井嘉彦氏に感謝の意を表する．

文　献

(1) 川村輝良 (1940)； 海底沈澱物の酸素消費力について，水産学雑誌 **47**, 105–110

(2) 加藤威夫 (1949)； 大村湾の底質諸性状，海象と気象 **14**, 33–40

(3) 奥田泰造，加藤健司 (1952)； 海洋底質の化学的研究，北大水産学部研究彙集 **2**, 281

寄　稿

昭和 32 年東北海区綜合海況*

淵　　秀　隆**

昭和 33 年 10 月 21 日仙台管区気象台会議室において第 8 回東北海区海洋調査技術連絡会を開催した．その節第一，第二管区海上保安本部，東北海区水産研究所，函館海洋気象台および気象庁海洋気象部その他関係者が昭和 32 年における東北海区の海況について協議取まとめの結果，次のとおり結論を得たので御参考に供する．

時期＼海域	黒潮域	親潮域	津軽暖流域
2～3 月	主流は本州東岸では前年 11 月に比し流向をやや東寄りに変え 143° E 附近でやや分散し，北限は 38° N 附近まで達してのち東南東に流れている． その南側はほぼ一様な黒潮水塊で占められていた．	146° E 以西の海域では親潮の流速は全般的に弱く (0.5 kt 以下) その接岸分枝の南下は東偏して金華山沖に達しその範囲は並であつた．混合水域の北上部は例年同期より沖合にずれ，かつその水温もやや低かつた． 沖合分枝の張り出しは例年より狭くその先端部は 39° N 147° E 附近に達していた．	例年より東方に張り出し親潮との潮境附近では 1 kt 内外を示した．
4 月	主流は犬吠岬近海を北北東に流れ塩屋岬から東北東に転じ 143° E 附近でその一部は北上して 39° N 以北に達していた．	接岸分枝の先端は 2～3 月より接岸し 38° N 線に達した．	
5 月	145° 以西の主流は 2～3 月期とほぼ同じ経過をとつていたが 146°～147° E の間で著しい南方迂回路による突起を生じた．北限は 38.5 N 南限は 35° N 以南であつた．この南西部は 200 m まで水温塩素量ともほぼ一様であつたが 35° N 線沿いに 1～2.5 kt の南向きの表面流が観測された．	42° N 以北の親潮域は例年より低温を示していた．宮古八戸沖に暖水域があつてそのため接岸分枝は二分しその一部は八戸沖他の一部は金華山沖合に広範囲に残留し更に黒潮主流に沿つて東方に流れ 146° E 附近で沖合分枝とつながつていた．	範囲も縮少して流れも 3 月に較べ弱く 0.7～0.8 kt となつていた．
6 月	主流は犬吠岬塩屋岬間では距岸 30～40 浬以内に接岸しているが最強流速も 2.6 kt に減少して北上勢力の減少が認められた．5 月の南方迂回路は消え低温水帯は切断されて 35° N 以南の孤立水塊として認められた．	5 月とほぼ同様な位置に暖水塊があり黒潮主流とは完全に分離していた．	
8 月	37° N 143° E 附近で主流は二分し北上分枝は 41.5° N 147° E にまで達していた．39° N 145° E を中心として表面で 26° C 19.1‰ 以上の高温高かんな時計廻りの水塊があり南北 240 浬東西 100 浬の広がりを持つていた．	接岸分枝は金華山附近まで南下していた．沖合分枝は黒潮北上迂回路の東側に沿つて 37° N 147° E に達していた．	5 月より幾分張り出し範囲を広め 143° E に達し，流れも強く 0.8～1.6 kt となつていた．
11 月	8 月に見られた黒潮の北上分枝は消えた．銚子を過ぎた主流は沿岸に割合に接岸して塩屋岬に達して後東北東に流れていた．	接岸分枝は八戸沖の暖水塊によつて南北に分けられていた．黒潮北上分枝のあとには広範囲な混合水塊が認められた． 沖合分枝の先端は後退し 39° N 146° E 附近にあつた．	例年同期に比べ張り出し域も狭く水温も低かつた．
12 月		145° 以西の親潮域では 11 月の状態を持続していた．	

* 1958 年 11 月 14 日受理

** 気象庁海洋気象部海洋課

津浪の発生と圧力波*

三 好 寿**

海洋学会誌 (1954, 1955) と Rec. Oceanogr. Wor. Jap. (1955) に連載した．筆者の「水の圧縮率を考慮した場合の津浪発生」の理論は，他の面からも注目すべき結果が出ているので紹介する．

先ず第1に圧力波は重力波とは別個に行動するということである．地上の地震に伴なう地殻変動の速さから類推して，海底の地形変動も 20～30 秒程度でその大部分が完了するものと思われる．それと生きうつしに海面に水の凹凸が出来，重力波となつて四方にひろがるのが津浪である．当然それに伴なつて，重力波と同程度のエネルギー (10^{23} エルグ程度，Vol. 14, No. 1, 参照．尚同文中，左側 7 行目“表面的”とあるのは“表面波”．右側5行目“10^{-23} エルグ”とあるのは“10^{23} エルグ”の誤り）をもつた圧力波が発生する．

計算の結果によれば，この圧力波は以上の重力波とは全く別個に行動することが分る．このことからおして明神礁の爆発の際に，水中に相当強烈な圧力波が生じていても，(それが水面で反射する際に海水が弾性体としての性質を失なつて，ドームとなつてくずれて重力波となる以外)，重力波に転じることはないことが分る．ドームとなつてしまえば，その規模なども目撃されているし，重力波を扱う時には別な簡単なドームの仮定を入れてやればよい．只ここでは圧力波のエネルギーは津浪の原因として直接考慮しなくてもよいことを述べる．(因に明神礁の圧力波が強烈でないという，観測談が2回くり返されている)．

第2に津浪が発生してから時間が経過すれば，やはり重力波とは別に 1.5 km/sec の速度で進むフロントの内部に，圧力波による水面の擾乱が現われる．そしてこの擾乱は浪源の中心を通る鉛直線を廻転軸とする，極めてうすい廻転楕円体に内接することが分る．従つて水中音速の 1.5 km/sec を次第に大きくして行くと，この楕円体は更にうすくなり，無限大の音速の時に消滅する．いいかえると水を非圧縮性とした時は，津浪や CAUCHY-POISSON 波をなす重力波の $\sqrt{gh}$ (g は重力加速度，h は水深）で進むフロントの前には擾乱は現われないことになる．

所が RAYLEIGH (1909) が，有限な水深を伝播する CAUCHY-POISSON 波を解いたところ，$\sqrt{gh}$ のフロントの前に擾乱が現われるような解となつた．これに対して RAYLEIGH は“As regards the general question, I do not think that the instantaneous propagation of disturbance should be considered paradoxical. It is to be remembered that in (9) ($:\sigma^2=gk\tanh kh$) the water is treated as incompressible, i.e. that the velocity of propagation of waves of *expansion* is regarded as infinite.”と述べている．RAYLEIGH の論文の中に見出される大きな誤りである．

以上2つのことを指摘しておく．

更にこの紙面を借りて附言しておくと，捕えられた津浪のエネルギーから爆心のドーム更にはプリューム（四方に飛び散つた水柱のこと）のエネルギーを推定したいわけである．このドームやプリュームのエネルギーは爆発のエネルギーと密接に関係があるわけである．その推定のためには，次のような実験が必要である．即ち水面上色々な高さから落された，水塊や種々の密度の岩石のポテンシャル・エネルギーの何パーセントが重力波即ち CAUCHY-POISSON 波のエネルギーになるかということである．2個の非弾性球の衝突の場合と同じように，エネルギーの相当部分が熱や音になつて消えているほかに，落下物体が水中を落下を続ける運動エネルギーにもなつている筈である．

以上の実験が早急に望まれる．

* 1958 年 12 月 17 日受理
** 東京水産大学物理学教室

特別寄稿

潮汐理論* (第3回)

日高孝次**

8. 半日潮汐，水深が一様である場合

半日潮汐に於て，水深が

$$h=h_0\sin^2\theta$$

の如く変化する場合の解は上述の如く簡単であつたが，両極で速度が無限大になる点は決して満足な解とは云へない．そこで我々は水深が一様な場合を別に考えなければならない．かかる場合の解も亦 Laplace が与えている．

今 (6.4) で $s=2$, $f=1$ とし h を一定と考え，且つ

$$\nu=(1-\mu^2)^{\frac{1}{2}}=\sin\theta \tag{8.1}$$

と置けば

$$\begin{aligned}\nu^2(1-\nu^2)\frac{d^2\zeta'}{d\nu^2}-\nu\frac{d\zeta'}{d\nu}-(8-2\nu^2-\beta\nu^4)\zeta' &=-\beta\nu^4\zeta\\ &=-\beta H_2\nu^6\end{aligned} \tag{8.2}$$

となる．但し β の意味は前と同様で起潮力の項は $\zeta=H_2(1-\mu^2)=H_2\nu^2$ である．

即ち (8.2) は全地球を一様の水深で覆う海洋の半日潮汐を与える微分方程式である．

そこで

$$\zeta'=B_0+B_2\nu^2+B_4\nu^4+\cdots\cdots+B_{2j}\nu^{2j}+\cdots\cdots \tag{8.3}$$

と置いて (8.2) に代入し，長週期潮汐と同様に係数を比較すれば

$$B_0=B_2=0 \tag{8.4}$$

$$0\times B_4=0,\quad 16B_6-10B_4+\beta H_2=0 \tag{8.5}$$

及び一般に $j>1$ に対して

$$2j(2j+6)B_{2j+4}-2j(2j+3)B_{2j+2}+\beta B_{2j}=0 \tag{8.6}$$

となるから $B_6, B_8\cdots\cdots B_{2j}$ は悉く B_4 の項で決定される．故に長週期潮汐の場合と同様

$$N_j=\frac{B_{2j+2}}{B_{2j}} \tag{8.7}$$

と置くならば (8.6) は

$$N_{j+1}=\frac{2j+3}{2j+6}-\frac{\beta}{2j(2j+6)N_j} \tag{8.8}$$

となる．さて充分大きい j に対して N が採るべき値は長週期潮汐の場合と同じ様の考え方で

$$\begin{aligned}N_j&=\cfrac{\beta}{\cfrac{2j(2j+6)}{2j+3}-N_{j+1}}\\ &=\cfrac{\beta}{\cfrac{2j(2j+6)}{2j+3}-\cfrac{\beta}{\cfrac{(2j+2)(2j+8)}{2j+5}-\cfrac{\beta}{\cfrac{(2j+4)(2j+10)}{2j+7}-\cdots\cdots}}}\end{aligned} \tag{8.9}$$

となるから充分大きい j に対して

$$N_j=\frac{\beta}{2j(2j+3)} \tag{8.10}$$

に依つてその近似値を求め次いで (8.9) に依つて次第に小さい j に及ぼす様にして決定する．

かくの如くして (8.6) に依り

$$N_2=\frac{B_6}{B_4} \tag{8.11}$$

まで計算することができる．今 (8.5) を B_4 で割ると

$$16N_2-10+\beta H_2/B_4=0$$

となるから

$$\begin{aligned}B_4&=\frac{B}{10-16N_2}H_2\\ &=N_1H_2\end{aligned} \tag{8.12}$$

として (8.6) を N_1 まで適用することができる．即ち

$$\zeta'=H_2(N_1\nu^4+N_1N_2\nu^6+\cdots\cdots)$$

となるから深さの一様な海の一日潮汐に対する解は

$$\zeta/H_2=\nu^2+N_1\nu^4+N_1N_2\nu^6+N_1N_2N_3\nu^8+\cdots\cdots \tag{8.13}$$

で与えられる．

Laplace は半日太陽潮汐 S_2 ($f=1$) に対し $\beta=40$, 20 及び 10 の場合に於ける (8.13) の級数を計算した．

その結果は次の様になる．

$\beta=40$ ($h=7260$ 呎)：

$$\begin{aligned}\zeta/H_2=\nu^2&+20.1862\nu^4+10.1164\nu^6-13.1047\nu^8\\ &-15.4488\nu^{10}-7.4581\nu^{12}-2.1975\nu^{14}-0.4501\nu^{16}\\ &-0.0687\nu^{18}-0.0082\nu^{20}-0.0008\nu^{22}-0.0001\nu^{24}\\ &-\cdots\cdots\end{aligned} \tag{8.14}$$

$\beta=20$ ($h=14520$ 呎)：

$$\begin{aligned}\zeta/H^2=\nu^2&-0.2491\nu^4-1.4056\nu^6-0.8594\nu^8\\ &-0.2541\nu^{10}-0.0462\nu^{12}-0.0058\nu^{14}-0.0006\nu^{16}\\ &-\cdots\cdots\end{aligned} \tag{8.15}$$

* 1958 年 5 月 1 日受理

** 東京大学部地球物学教室

$\beta=10$ ($h=29040$ 呎):

$$\zeta/H_2=\nu^2+6.1915\nu^4+3.2447\nu^6+0.7234\nu^8+0.0919\nu^{10}+0.0079\nu^{12}+0.0004\nu^{14}+\cdots\cdots \tag{8.16}$$

尚 $\beta=5$ 及び 1 に対しては次の如き Kelvin の計算がある.

$\beta=5$ ($h=58089$ 呎):

$$\zeta/H_2=\nu^2+0.7504\nu^4+0.1566\nu^6+0.0157\nu^8+0.0009\nu^{10}+\cdots\cdots$$

$\beta=1$ ($h=290400$ 呎):

$$\zeta/H_2=\nu^2+0.1062\nu^4+0.0039\nu^6+0.0001\nu^8+\cdots\cdots$$

これらの式に依れば両極では $\zeta=0$ でまた赤道上 ($\nu=1$) の潮差を計算すると次の様になる.

$\beta=40$	20	10	5	1
$\zeta/H_2=-7.434$	-1.821	$+11.259$	$+1.924$	$+1.110$

即ち赤道上では $\beta=20$ と $\beta=10$ の間で, 即ち水深 14520 呎の海と同じく 2940 呎の海とで ζ の位相が反対になり, それらの絶対値は $\beta=10$ 及び $\beta=40$ の近くで著しく大きくなる様である. 両極では潮差は $=0$ である.

9. Hough の理論 全地球を囲繞する海洋の動力学的潮汐論は Laplace に端を発し, Kelvin, Darwin, 等に依つて発達したことは前述の通りであるが, その後 1898 年に至り南阿岬都の天文台に在つた Samuel Sydney Hough(1) に至つて完璧の域に達した. 勿論 Hough の理論と雖も実際の潮汐現象を説明するには必ずしも充分の価値を有つものではないが流体力学的の見地からして Laplace, Airy, Kelvin, Darwin, の理論を遙かに凌ぐ壮麗なものであることは否めない. その特色とする所は次の 2 点である.

(1) 解式を球函数に依つて展開することに成功したこと. これは以上の先輩特に Laplace が屢々試みて遂に成功するに至らなかつたものである. この方法に依れば解式を表す級数が速やかに収斂し, 特に自由振動の研究に著しい寄与をした.

(2) 表面の形が変化した結果変位した水塊が生ずる引力を考慮したこと. これは実際上必ずしも重要な寄与をしたわけではないが理論的には潮汐論に著しい貢献を添えたと云う可く, この事項を考慮すると否とに依つて結果にかなりの差を生ずる.

10. 球函数に依る展開 Laplace が示した 3 種の振動に対する平衡潮高 $\bar{\zeta}$ はこれを良く観察するならば次の如く帯球函数として表し得ることが判る. 即ち $\mu=\cos\theta$ と置くならば

$$\cos^2\theta-\frac{1}{3}=\mu^2-\frac{1}{3}=\frac{2}{3}P_2(\mu)$$

である. 但し $P_n(\mu)$ は n 次の球函数

$$P_n(\mu)=\frac{(2n!)}{2^n\cdot(n!)^2}\left\{\mu^n-\frac{n(n-1)}{2\cdot(2n-1)}\mu^{n-2}+\frac{n(n-1)(n-2)(n-3)}{2\cdot4\cdot(2n-1)(2n-3)}\mu^{n-4}-+\cdots\cdots\right\}$$

で次の微分方程式を満すものである.

$$\frac{d}{d\mu}\left\{(1-\mu^2)\frac{dP_n}{d\mu}\right\}+n(n+1)P_n=0$$

この函数を用いると (2.3) から長週期潮汐に対して

$$\bar{\zeta}=\frac{2}{3}H_0P_2(\mu)e^{i(\sigma t+\varepsilon_0)} \tag{10.1}$$

が得られる. 更に

$$\sin\theta\cos\theta=\frac{1}{2}\sqrt{1-\mu^2}\,\frac{d}{d\mu}\left(\mu^2-\frac{1}{3}\right)=\frac{1}{2}P^1{}_2(\mu)$$

である. 但し $P^s{}_n(\mu)$ は n 次 s 階の陪函数である. この函数を用いると (2.4) から一日潮汐に対して

$$\bar{\zeta}=\frac{1}{3}H_1P^1{}_2(\mu)e^{i(\sigma t+\lambda+\varepsilon_1)} \tag{10.2}$$

と書くことが出来る.

次に

$$\sin^2\theta=1-\mu^2=\frac{1}{2}(\sqrt{1-\mu^2})^2\frac{d^2}{d\mu^2}(\mu^2-1)=\frac{1}{2}P^2{}_2(\mu)$$

である. これは $n=s$ である陪函数で扇形球函数 (sectorial harmonic) と呼ばれる. この函数を用いれば (2.5) から半日潮汐に対しては

$$\xi=\frac{1}{2}H_2P^2{}_2(\mu)\cdot e^{i(\sigma t+2\lambda+\varepsilon)} \tag{10.3}$$

となる.

かくの如く球函数に依つて平衡潮高, 即ち起潮力ポテンシァルを表すことが出来るが, Hough は更に一般的に考え $\bar{\zeta}=\sum E^s{}_nP^s{}_n(\mu)e^{i(\sigma t+s\lambda+\varepsilon_s)}$ なる場合を論じこれに対応して実際の潮高 ζ を次の如く仮定して微分方程式を積分した.

$$\zeta=\sum_n C^s{}_nP^s{}_n(\mu)\cdot e^{i(\sigma s+s\lambda+\varepsilon)} \tag{10.4}$$

但し $s=0, 1, 2$ とすれば夫々長週期潮汐, 一日潮汐及び半日潮汐を表すこと申す迄もない.

11. 変位した水塊の影響 今 ζ_n を n 次の表面球函数とすると, 半径 a の球面上に密度 S の流体が深さ ζ_n に分布しているために生ずるポテンシァルは球の内外で連続で, 球面上の点では

$$-\frac{4\pi a\gamma\rho}{2n+1}\zeta_n$$

に等しい.(1) 但し γ は万有引力常数である. そこで今水面の変形が表面球函数 ζ_n の級数に依り

$$\zeta=\sum_n\zeta_n$$

の如く展開できるとするとそのために生ずるポテンシァルは

(1) On the Application of Harmonic Analysis to the Dynamical Theory of the Tides. Phil. Trans. Roy. Soc. London, A-189. P. 201-257 (1897); A-191, P. 139-185 (1898).

(1) ポテンシァル理論参照.

$$-\sum_n \frac{4\pi a\gamma\rho}{2n+1}\zeta_n \qquad (11.1)$$

となる．今海洋を包含する地球全体の密度 ρ_0 とすれば

$$g=\frac{4}{3}\pi\gamma a\rho_0$$

であるから両式から γ を消去すると (11.1) は

$$-g\sum_n \frac{3}{2n+1}\cdot\frac{\rho}{\rho_0}s_n \qquad (11.2)$$

となる．そこで今水面の変形が

$$\zeta=\sum_n C^s{}_n P^s{}_n(\mu) \qquad (11.3)$$

の如く n 次 s 階の球函数の級数で表はし得るときには，その変形に依つて生ずるポテンシァルは上記に従えば

$$-\sum \frac{3g}{2n+1}\cdot\frac{\rho}{\rho_0}C^s{}_n P^s{}_n(\mu) \qquad (11.4)$$

で，これが外力のポテンシァルの一部として附加されると考えればよろしい．従つて

$$\bar{\zeta}=\sum E^s{}_n P^s{}_n(\mu) \qquad (11.5)$$

であれば

$$\Omega=-g\sum_n\left(E^s{}_n+\frac{3}{2n+1}\frac{\rho}{\rho_0}C^s{}_n\right)(\mu) \qquad (11.6)$$

となるから今迄

$$\zeta'=\zeta-\bar{\zeta}$$

と置いた代りに次の様に置くことができる．

$$\zeta'=\zeta+\Omega/g$$
$$=\sum_n(\alpha_n C^s{}_n-E^s{}_n)P^s{}_n(\mu) \qquad (11.7)$$

但し

$$\alpha_n=1-\frac{2}{2n+1}\cdot\frac{\rho}{\rho_0} \qquad (11.8)$$

$\frac{\rho}{\rho_0}=0$ として海面変形の影響を省略すれば $\alpha_n=1$ となる筈であるから $\rho/\rho_0=0.181$ として変形した水塊の影響を採用するか否かで結果に可也の差異が認められることになる．

12. 長周期潮汐　動力学的潮汐論で長週期潮汐 ($s=0$) の微分方程式から時間 t の項を落したものは

$$\frac{\partial}{a\sin\theta\partial\theta}\left\{\frac{h\sin\theta}{f^2-\cos^2\theta}\cdot\frac{\partial\zeta'}{\partial\theta}\right\}+\frac{4\omega^2a^2}{g}\zeta=0$$

となる．故に今

$$\cos\theta=\mu$$

と置き先づ水深 h が一様であるとすると上式は

$$\frac{\partial}{\partial\mu}\left(\frac{1-\mu^2}{f^2-\mu^2}\frac{\partial\zeta'}{\partial\mu}\right)+\beta\zeta=0 \qquad (12.1)$$

となる．そこで一般に

$$\zeta=\sum_n C_n P_n(\mu),\qquad \bar{\zeta}=\sum_n \gamma_n P_n(\mu) \qquad (12.2)$$

及び

$$\zeta'=\sum_n(\alpha_n C_n-\gamma_n)P_n(\mu) \qquad (12.3)$$

と置いてみる．但し γ_n は $n=2$ のときには

$$\gamma_2=\frac{2}{3}H_0 \qquad (12.4)$$

であるが他の n に対しては $\gamma_n=0$ である．(12.3) を (12.1) に代入し $\mu=-1$ から $\mu=\mu$ まで積分すると

$$\sum_n(\alpha_n C_n-\gamma_n)(1-\mu^2)\frac{dP_n}{d\mu}$$
$$+\sum_n \beta C_n\{(f^2-1)+(1-\mu^2)\}\int_{-1}^{\mu}P_n(\mu)d\mu=0 \qquad (12.5)$$

となる．球函数の理論に依り

$$\int_{-1}^{\mu}P(\mu)d\mu=-\frac{1-\mu^2}{n(n+1)}\frac{dP_n}{d\mu}$$

となる．更に

$$\int_{-1}^{\mu}P_n(\mu)d\mu=\frac{1}{2n+1}(P_{n+1}-P_{n-1}$$
$$=\frac{1}{2n+1}\left\{\frac{1}{2n+3}\left(\frac{dP_{n+2}}{d\mu}-\frac{dP_n}{d\mu}\right)\right.$$
$$\left.-\frac{1}{2n-1}\left(\frac{dP_n}{d\mu}-\frac{dP_{n-2}}{d\mu}\right)\right\}$$
$$=\frac{1}{(2n+1)(2n+3)}\frac{dP_{n+2}}{d\mu}$$
$$-\frac{2}{(2n-1)(2n+3)}\frac{dP_n}{d\mu}$$
$$+\frac{1}{(2n-1)(2n+1)}\frac{dP_{n+2}}{d\mu}. \qquad (12.7)$$

(12.5) の第二項を変形すると

$$\sum_n \beta C_m\{(f^2-1)+(1-\mu^2)\}\int_{-1}^{\mu}P_n(\mu)d\mu$$
$$=\beta(f^2-1)\sum_n C_n\int_{-1}^{\mu}P_n(\mu)d\mu$$
$$+\beta\sum_\mu C_n(1-\mu^2)\int_{-1}^{\mu}P_n(\mu)d\mu \qquad (12.8)$$

となる．この式の右辺第一項に (12.6) を代入しまた第二項に (12.7) を代入すると (12.5) は

$$\sum_n(\alpha_n C_n-\gamma_n)(1-\mu^2)\frac{dP_n}{d\mu}$$
$$-\beta(f^2-1)\sum_n\frac{C_n}{n(n+1)}(1-\mu^2)\frac{dP_n}{d\mu}$$
$$+\beta\sum_n C_n\left\{\frac{1}{(2n+1)(2n+3)}(1-\mu^2)\frac{dP_{n+2}}{d\mu}\right.$$
$$-\frac{2}{(2n-1)(2n+3)}(1-\mu^2)\frac{dP_n}{d\mu}$$
$$\left.+\frac{1}{(2n-1)(2n+1)}(1-\mu^2)\frac{dP_{n-2}}{d\mu}\right\}=0$$

となるから更に変形すると

$$\beta\sum_n\left[\left\{\frac{\alpha_n}{\beta}-\frac{f^2-1}{n(n+1)}-\frac{2}{(2n-1)(2n+3)}\right.\right.$$
$$\left.-\gamma_n\right\}C_n+\frac{1}{(2n+3)(2n+5)}C_{n+2}$$
$$\left.+\frac{1}{(2n-3)(2n-1)}C_{n-2}-\frac{\gamma_n}{\beta}\right](1-\mu^2)\frac{dP_n}{d\mu}=0$$

が得られる．その関係が μ の如何に拘らず成立するためには $(1-\mu^2)\frac{dP_n}{d\mu}$ の係数がその総ての値に対して $=0$ でなければならないから

$$\frac{1}{(2n+3)(2n+5)}C_{n+2}-L_nC_n$$
$$+\frac{1}{(2n-3)(2n-1)}C_{n-2}=\frac{\gamma_n}{\beta} \qquad (12.9)$$

但し

$$L_n=\frac{f^2-1}{n(n+1)}+\frac{2}{(2n-1)(2n+3)}-\frac{\alpha_n}{\beta} \qquad (12.10)$$

に依つて C_n 相互の関係が決定される．

扨茲に注目す可きは本回 $\bar{\zeta}=\sum_n \gamma_n P_n(\mu)$ としたが長週期潮汐では前にも述べた如く

$$\bar{\zeta}=\frac{2}{3}H_0 P_n(\mu)\, e^{i(\sigma t+\varepsilon)}$$

であるから γ_n は $n=2$ のとき $\gamma_2=\frac{2}{3}H_0$ である丈けで他の n に対しては総て $\gamma_n=0$ であることである．また方程式 (12.9) は n 及びこれと 2 丈け異つた添字を有つ係数 C_n, C_{n-2} 及び C_{n+2} の間の関係を与えるものであるから，この方程式は自然 n が偶数である場合及び n が奇数である場合との 2 群に分れる．併し我々の場合は総ての C_n を皆 γ_2 の項で決める事になるから n が偶数である場合丈けを取扱えば充分である．そこで今

$$C_0=-\frac{2}{\beta}\left(1-\frac{3}{5}\frac{\rho}{\rho_0}\right)H_0 \qquad (12.11)$$

と採れば関係式 (12.9) は $n\geqq 2$ なる総ての n に対して成立する．即ち

$$\frac{C_0}{1.3}-L_2C_2+\frac{C_4}{7.9}=0,\quad \frac{C_2}{5.7}-L_4C_4+\frac{C_6}{11.13}=0,\cdots\cdots$$

となる．

扨一覧した処ではこれらの方程式は単に総ての C_n を C_2 の項で決定するのみで C_2 の値は決定されない様に見える．併し決してそうではないことを次に示そう．

n が著しく大きくなると (12.9) は

$$\frac{C_{n+2}+C_{n-2}}{C_n}+\frac{4n^2}{\beta}=0$$

の形に接近する．そこでこの式を変形し．且つ n が大きいと考えると，

$$-\frac{C_n}{C_{n-2}}=\frac{1}{\dfrac{4n^4}{\beta}-\left(-\dfrac{C_{n+2}}{C_n}\right)}$$

として $n\to\infty$ と置けば

$$\lim_{n\to\infty}\frac{C_n}{C_{n-2}}=-\frac{\beta}{4n^2}$$

となる．併し若しこれ以外に C_n/C_{n-2} の採る値があるとすれば上式を再び変形して

$$\frac{C_{n+2}}{C_n}=-\frac{4n^2}{\beta}\cdot\frac{1}{C_n/C_{n-2}}$$

と置いて $n\to\infty$ とすると

$$\frac{C_{n+2}}{C_{n+2}}=-\frac{4n^2}{\beta}$$

の如くにこの比は ∞ になることを発見する．かかる場合には ζ の級数は発散することは明瞭である．依つて我々は C_n/C_{n+2} が $n\to\infty$ で無限に小さくなつて行くと云う場合を採用する必要がある．今簡単のために

$$a_n=\frac{1}{(2n+1)(2n+3)^2(2n+5)} \qquad (12\cdot 11)$$

と置けば (12.9) は次の形に書くことができる．

$$\frac{C_{n-2}/C_n}{(2n-3)(2n-1)}=L_n-\frac{a_n}{\dfrac{C_n/C_{n+2}}{(2n+1)(2n+3)}} \qquad (12.12)$$

この式を反復適用とすると右辺は

$$=L_n-\cfrac{a_n}{L_{n+2}-\cfrac{a_{n+2}}{L_{n+4}-\cdots\cdots}}$$

の如き連分数となる．

今

$$K_n=\cfrac{a_{n-2}}{L_n-\cfrac{a_n}{L_{n+2}-\cfrac{a_{n+2}}{L_{n+4}-\cdots\cdots}}} \qquad (12.13)$$

と置けば (12.12) と比較することに依り

$$\frac{C_{n-2}/C_n}{(2n-3)(2n-1)}=\frac{a_{n-2}}{K_n}$$

となるから (12.11) を考慮することに依り次式が得られる．

$$\frac{C_n}{C_{n-2}}=(2n-1)(2n+1)K_n. \qquad (12.14)$$

即ち $n\to\infty$ で K_n は $\frac{\beta}{16n^4}$ となるから $\frac{C_n}{C_{n-2}}$ は $\frac{1}{4n^2}$ の如くに減少するのである．上式から

$$\left.\begin{aligned} C_2&=3.5K_2C_0,\\ C_4&=3.5.7.9K_2K_4C_0,\\ C_6&=3.5.7.9.11.13.K_2K_4K_6C_0,\\ &\cdots\cdots \end{aligned}\right\} \qquad (12.15)$$

となる．但し

$$C_0=-\frac{2}{\beta}\left(1-\frac{3}{5}\frac{\rho}{\rho_0}\right)H_0$$

であることは以上に見た処である．そこで今充分大きい n に対する C 例えば C_{14}, C_{16} 等を $=0$ としても差支ないと仮定すると (12.13) に依つて $K_{14}, K_{12}, \cdots\cdots, K_4, K_2$ を計算することができるから結局 $C_{12}, C_{10}, \cdots\cdots, C_2$, が何れも H_0 の項で決定されることになるのである．

かくの如くして長週期潮汐に対して

$$\zeta=-\frac{2\left(1-\dfrac{3}{5}\dfrac{\rho}{\rho_0}\right)}{\beta}H_0\{3.5K_2P_2(\mu)+3.5.7.9K_2K_2P_4(\mu)+\cdots\cdots\}\cos(\sigma t+\varepsilon) \qquad (12.16)$$

が得られる．この潮高 ζ は即ち平衡潮高

$$\bar{\zeta}=\frac{2}{3}H_0P_2(\mu)\cos(\sigma t+\varepsilon)$$

に対応するものである．依つて両式から H_0 を消去すると

$$\frac{\zeta}{\bar{\zeta}}=-\frac{3}{\beta}\frac{1-\dfrac{3}{5}\dfrac{\rho}{\rho_0}}{P_2(\mu)}\{3.5K_2P_2(\mu)+3.5.7.9K_2K_4P_4(\mu)+\cdots\cdots\} \qquad (12.17)$$

となる．

さて σ は長週期潮汐の週期で 2π を割つたものでその逆数は通常週期中の恒星時の数を 2π で割つたものである．その最大のものは太陰半月潮汐 (lunar fortnightly tide, M_f) に属するものでその週期は約 28 恒星日，$\sigma=1°.0980330$/時，$f^2=0.00133$ である．

また海水密度 ρ と地球の平均密度 ρ_0 との比は $\rho/\rho_0=0.18093$ であるから

$$1-\frac{3}{5}\frac{\rho}{\rho_0}=0.89144$$

となる．Hough は以上の解式を β の種々の値に対して数値的に計算したがその結果の一，二を次に掲げよう．

$\beta=40$ ($h=7260$ 呎) では

$$\frac{\zeta}{\bar{\zeta}}=\frac{1}{P_2(\mu)}\{0.2669P_2(\mu)-0.1678P_4(\mu)+0.0485P_6(\mu)-0.0081P_8(\mu)+0.0009P_{10}(\mu)-0.0001P_{12}(\mu)+\cdots\cdots\} \quad (12.12)$$

となる．平衡説では

$$\frac{\zeta}{\bar{\zeta}}=\frac{1}{P_2(\mu)}\times P_2(\mu)$$

である筈である．動力学的に考えた潮高が平衡潮高と如何に差異あるものであるかが判るであろう．次に $\beta=5(h=14520$ 呎) とすると

$$\frac{\zeta}{\bar{\zeta}}=\frac{1}{P_2(\mu)}\{0.7208P_2(\mu)-0.0973P_4(\mu)+0.0048P_6(\mu)-0.0001P_8(\mu)+\cdots\cdots\} \quad (12.19)$$

となつて潮高が余程平衡潮高に近くなる．これは水深が大きいためである．即ち水深が増せば潮高は平衡説で与えられるものに近づいて行く．

Laplace はその潮汐論に於て長週期潮汐を以上の様に取扱つていない．即ち極く少しの摩擦でも存在すればそのため海洋は時々刻々起潮力に順応して平衡説で与えられる通りの潮汐が起ると考えたからであつた．

尚 Hough は k 及び l を常数とするとき水深 h が

$$h=k+l(1-\mu^2)$$

の如く変化する場合にも解を得ている．

13. 変化した水層の引力に依る影響

Hough が得た以上の結果と Darwin が纍級数を以て得た結果とが若し正確に一致しないならばその差は変形した海水の引力を考慮に入れたために生じたものでなければならない．

Hough は動力学的潮高と平衡潮高との比 $\zeta/\bar{\zeta}$ を計算したが $\frac{\rho}{\rho_0}=0$ 即ち変形した海水の引力を無視した場合には Darwin の結果と完全に一致した．次表は無限に長い週期の潮汐に関するその結果である．

$\zeta/\bar{\zeta}$ の値

β	$\rho/\rho_0=0.18093$		$\rho/\rho_0=0$	
	両極	赤道	両極	赤道
40	0.140	0.426	0.154	0.455
20	0.266	0.551	—	—
10	0.443	0.681	0.470	0.708
5	0.628	0.796	0.651	0.817

以上で見ると海水相互の引力は振幅を減少する様に作用する．即ち $\beta=40$ では約 8%，$\beta=10$ では約 5%減少する．

14. 自由振動

微分方程式 (12.2) に於て $\gamma_n=0$ と置けばこれは即 $\bar{\zeta}=0$ ちであり，外力が存在しないことを示している．その表す運動は即ち自由振動に他ならない．この場合には β を与えれば f 即ち σ，従つて振動の週期が与えられる．その週期方程式は以上論じた対称型即ち振幅分布が赤道に対して対称的な振動ではで

$$L_2-\cfrac{1}{\cfrac{5\cdot7^2\cdot9}{L_4-}-\cfrac{1}{\cfrac{9\cdot11^2\cdot13}{L_6-\cdots\cdots}}}=0 \quad (14.1)$$

あり，反対称型即ち赤道の両側で絶対値は等しい符号が反対である振動では

$$L_1-\cfrac{1}{\cfrac{3\cdot5^2\cdot7}{L_3-}-\cfrac{1}{\cfrac{7\cdot9^2\cdot11}{L_5-\cdots\cdots}}}=0 \quad (14.2)$$

となる．但し

$$L_n=\frac{f^2-1}{n(n+1)}+\frac{2}{(2n-1)(2n+3)}-\frac{\alpha_n}{\beta} \quad (14.3)$$

である．両型共に無限に多くの振動があるが n が大きな場合には週期は大体 $L_n=0$ 即ち

$$\frac{\sigma^2}{4\omega^2}=1+n(n+1)\left\{\left(1-\frac{3}{2n+1}\frac{\rho}{\rho_0}\right)\frac{gh}{4\omega^2a^2}-\frac{2}{(2n-1)(2n+3)}\right\} \quad (14.4)$$

で与えられることが証明できる．

次表は対称型振動（地球自転がなければ $P_2(\mu)$ で与えられる筈のもの）中最緩振動の週期（恒星時）を種々の水深について与える．

β	水深 (呎)	$\frac{\sigma^2}{4\omega^2}=f^2$	週期 (時分)	$\omega=0$ の時の週期 (時分)
40	7260	0.44155	18 3.5	32 49
20	14520	0.62473	15 11.0	23 12
10	29040	0.92506	12 28.6	16 25
5	58080	1.4785	9 52.1	11 35

非対称型の振動は強制潮汐として起らないから自由振動の場合にも余り興味がない．

振幅を与える式も亦強制潮汐と同様帯球函数 $P_n(\mu)$ の級数として与えられる．

H. Lamb は同じ問題を Kelvin 及び Darwin が与えた方法 (§4) で取扱い

$$\frac{1}{\mu^2-f^2}\frac{d\zeta'}{d\mu}=B_1\mu+B_3\mu^3+\cdots\cdots+B_{2j+1}\mu^{2j+1}+\cdots\cdots$$

と置き週期方程式

$$1-\frac{\beta f^2}{2\cdot3}+\cfrac{\frac{\beta}{4.5}}{1-\frac{\beta f^2}{4.5}+}-\cfrac{\frac{\beta}{6.7}}{1-\frac{\beta f^2}{6.7}+}\cdots\cdots=0$$

を得た．$\beta\to0$ に於てこの方程式の根は

$$\beta f^2=\frac{\sigma^2a^2}{gh}=n(n+1)$$

となる．(n は整数) これは自転を考慮しない場合の結果に等しい．

15. 一日潮汐及び半日潮汐の取扱い方

一日潮汐及び半日潮汐を一括して次の微分方程式の解として表すことが出来る．

$$\frac{\sin\theta\,\partial}{\partial\theta}\left[\frac{h\left(\sin\theta\frac{\partial\zeta'}{\partial\theta}+\frac{s}{f}\cos\theta\,\zeta'\right)}{f^2-\cos^2\theta}\right]-\frac{h}{f^2-\cos^2\theta}\left(\frac{s}{f}\cdot\cot\theta\frac{\partial\zeta'}{\partial\theta}+s^2\,\mathrm{cosec}^2\,\theta\zeta'\right)+\frac{4\omega^2a^2}{g}\zeta=0 \qquad (15.1)$$

これは (8.1) と同じ式であるが只 ζ' が $\zeta'=\zeta+\Omega/g$ であり，(11.7) の如く表される点を異にする．今 $\sin\theta\frac{\partial}{\partial\theta}$ を演算子 D で表しまた $\frac{s}{f}=\nu$ とすれば (15.1) の中央項は

$$-\frac{h\nu\cos\theta}{\sin^2\theta}\cdot\frac{(D+\nu\cos\theta)\zeta'}{f^2-\cos^2\theta}-\frac{\nu^2h\zeta'}{\sin^2\theta} \qquad (15.2)$$

となり，(14.1) は

$$(D-\nu\cos\theta)\left[\frac{h(D+\nu\cos\theta)\,\zeta'}{f^2-\cos^2\theta}\right]-\nu^2h\zeta'+\frac{4\omega^2a^2}{g}\sin^2\theta\zeta=0 \qquad (15.3)$$

となる．そこで今

$$\zeta'=(D-\nu\cos\theta)\Psi+(s^2-\nu^2\cos^2\theta)\Phi \qquad (15.4)$$

の如き 2 つの補助函数 Ψ 及び Φ を導入する．また記号的には

$$\left.\begin{aligned}&(D+\nu\cos\theta)(D-\nu\cos\theta)\\&=D^2-s^2+\nu\sin^2\theta+(s^2-\nu^2\cos^2\theta)\\&(D-\nu\cos\theta)(D+\nu\cos\theta)\\&=D^2-s^2-\nu\sin^2\theta+(s^2-\nu^2\cos^2\theta)\end{aligned}\right\} \qquad (15.5)$$

であることを証明することが出来る．そうすると

$$(D+\nu\cos\theta)(s^2-\nu^2\cos^2\theta)\Phi=(s^2-\nu^2\cos^2\theta)(D+\nu\cos\theta)\Phi+2\nu^2\sin^2\theta\cos\theta\Phi \qquad (15.6)$$

である．また (15.4) に演算子 $D+\nu\cos\theta$ を適用し (15.5) の第 1 式及び (15.6) を用いれば

$$(D+\nu\cos\theta)\zeta'=(D^2-s^2+\nu\sin^2\theta+s^2-\nu^2\cos^2\theta)\Psi+(s^2-\nu^2\cos^2\theta)(D+\nu\cos\theta)\Phi+2\nu^2\sin^2\theta\cos\theta\Phi \qquad (15.7)$$

となる．函数 Ψ と Φ とは未だ決定されていないからこれに今 1 つ

$$(D^2-s^2+\nu\sin^2\theta)\Psi=-2\nu^2\sin^2\theta\cos\theta\Phi \qquad (15.8)$$

なる条件を附加すれば (15.7) は

$$\frac{(D+\nu\cos\theta)\zeta'h}{s^2-\nu^2\cos^2\theta}=\Psi+(D+\nu\cos\theta)\Phi \qquad (15.9)$$

となる．この式を (15.3) に代入し，(15.5) の第 2 式を用いると函数 Ψ が消去され式は次の様になる．

$$(D^2-s^2-\nu\sin^2\theta)\Phi+\frac{\beta}{\nu^2}\sin^2\theta\zeta=0 \qquad (15.10)$$

であり，且つ (15.8) から $-\nu^2\cos^2\theta\Phi=\frac{1}{2}\frac{\cos\theta}{\sin^2\theta}(D^2-s^2+\nu\sin^2\theta)\Psi$ であるから (15.4) は次の様に書くことが出来る．

$$\zeta'=\left[D-\nu\cos\theta+\frac{1}{2}\frac{\cos\theta}{\sin^2\theta}(D^2-s^2+\nu\sin^2\theta)\right]\Psi+S^2\Phi \qquad (15.11)$$

方程式 (15.9)，(15.10) 及び (15.11) は Ψ 及び Φ を決定するものである．

今 $\cos\theta=\mu$ と書き帯球函数を

$$P_n(\mu)=\frac{1}{2^nn!}\left(\frac{d}{d\mu}\right)^n(\mu^2-1)^n$$

の如く定義すれば帯球函数についてよく知られた公式に依り

$$\frac{d}{d\mu}\left[(1-\mu^2)\frac{dP_n}{d\mu}\right]+n(n+1)P_n=0, \qquad (15.12)$$

$$(n+1)P_{n+1}-(2n+1)\mu P_n+nP_{n-1}=0, \qquad (15.13)$$

$$\frac{dP_{n+1}}{d\mu}-\frac{dP_{n-1}}{d\mu}=(2n+1)P_n \qquad (15.14)$$

今 $P^s_n\begin{matrix}\cos\\\sin\end{matrix}s\varphi$ を以て n 次 s 階の tesseral harmonics であるとすれば次の関係がある．

$$P^s_n(\mu)=(1-\mu^2)^{\frac{1}{2}s}\frac{d^sP_n}{d\mu^s} \qquad (15.15)$$

そこで

$$\zeta=\sum_n C^s{}_nP^s{}_n(\mu),\qquad \bar{\zeta}=\sum_n E^s{}_nP^s{}_n(\mu)$$

$$\Psi=\sum_n \alpha^s{}_nP^s{}_n(\mu),\qquad \Phi=\sum_n \beta^s{}_nP^s{}_n(\mu)$$

の如く仮定して (15.9)，(15.10) 及び (15.11) の 3 式に代入し，その結果を函数 $P^s{}_n$ の級数で表わせば宜しい．そこで $P^s{}_n$ に変化させるべき $P^s{}_n$ の函数は次の如きものである．

$$\frac{1}{\sin^2\theta}(D^2-s^2\pm\nu\sin^2\theta)P^s{}_n\cos P^s{}_n$$

$$\left[D-\nu\cos\theta+\frac{1}{2}\frac{\cos\theta}{\sin^2\theta}(D^2-s^2+\nu\sin^2\theta)\right]P^s{}_n$$

今 (15.12) を s 回微分し，その結果を演算子 D の項で表すと次の様になる．

$$(D^2-s^2)P^s{}_n+n(n+1)P^s{}_n\sin\theta^2\theta=0 \qquad (15.16)$$

そこでまた (15.13) を回微分し (15.14) を用いれば次式を得る．

$$(n-s+1)P^s{}_{n+1}-(2n+1)\cos\theta P^s{}_n+(n+s)P^s{}_{n-1}=0 \qquad (15.17)$$

最後に (15.15) を微分し (15.12)，(15.13) 及び (15.14) を用いれば

$$DP^s{}_n=\frac{n(n-s+1)}{2n+1}P^s{}_{n+1}-\frac{(n+1)(n+s)}{2n+1}P^s{}_{n-1} \qquad (15.18)$$

(15.16)，(15.17) 及び (15.18) に依つて

$$\frac{1}{\sin^2\theta}(D^2-s^2\pm\nu\sin^2\theta)P^s{}_n=[-n(n+1)\pm\nu]P^s{}_n,$$

$$\cos\theta P^s{}_n=\frac{n+s}{2n+1}P^s{}_{n-1}+\frac{n-s+1}{2n+1}P^s{}_{n+1},$$

$$\left[D-\nu+\frac{1}{2}\frac{\cos\theta}{\sin^2\theta}(D^2-s^2+\nu^2\sin^2\theta)\right]P^s{}_n=-\frac{(n-s+1)[\nu+n(n-1)]}{2(2n+1)}P^s{}_{n+1}+\frac{(n+s)[\nu+(n+1)(n+2)]}{2(2n+1)}P^s{}_{n-1}$$

となる．依つて方程式 (15.8)，(15.9)，(15.10) から

$$\sum_n\Big[\alpha^s{}_n\{-n(n+1)+\nu\}P^s{}_n+2\nu^2\beta^s{}_n\Big\{\frac{n+s}{2n+1}P^s{}_{n-1}+\frac{n-s+1}{2n+1}P^s{}_{n+1}\Big\}\Big]=0,$$

$$\sum_n\Big[\beta^s{}_n\{-n(n+1)-\nu\}P^s{}_n+\frac{4\omega^2a^2}{gh\nu^2}C^s{}_nP^s{}_n\Big]=0,$$

$$\sum_n\Big[(\alpha^s{}_nC^s{}_n-E^s{}_n)P^s{}_n+\alpha^s{}_n\Big\{\frac{(n-s+1)[\nu+n(n-1)]}{2(2n+1)}P^s{}_{n+1}+\frac{(n+s)[\nu+(n+1)(n+2)]}{2(2n+1)}P^s{}_{n-1}\Big\}-s^2\beta^s{}_nP^s{}_n\Big]=0$$

これら3式は何れも恒等的に成立しなければならないから各方程式中の $P^s{}_n(\mu)$ の係数は夫々 $=0$ でなければならない．

故に

$$\left.\begin{aligned}&\alpha^s{}_n\{\nu-n(n+1)\}+2\nu^2\Big\{\beta^s{}_{n+1}\cdot\frac{n+s+1}{2n+3}+\beta^s{}_{n-1}\frac{n-s}{2n-1}\Big\}=0,\\&-\beta^s{}_n\{\nu+n(n+1)\}+\frac{\beta}{\nu^2}C^s{}_n=0,\\&(\alpha^s{}_nC^s{}_n-E^s{}_n)+\alpha^s{}_{n+1}\frac{(n-s)[\nu+(n-1)(n-2)]}{2(2n-1)}+\alpha^s{}_{n+1}\frac{(n+s+1)[\nu+(n+2)(n+3)]}{2(2n+3)}\\&-s^2\beta^s{}_n=0.\end{aligned}\right\}\qquad(15.19)$$

(15.19) の初めの2式に依つて第3式中の α と β とを消去すると次の式が得られる．

$$\xi^s{}_{n-2}C^s{}_{n-2}-L^s{}_nC^s{}_n+\eta^s{}_{n+1}C^s{}_{n+2}=\frac{E^s{}_n}{\beta}\qquad(15.20)$$

但し

$$L^s{}_n=\frac{s^2}{\nu^2[\nu+n(n+1)]}+\frac{(n^2-s^2)[\nu+(n-1)(n-2)]}{((4n^2-1)[\nu-(n-1)n][\nu+n(n+1)]}+\frac{[(n+1)^2-s^2][\nu+(n+2)(n+3)]}{[4(n+1)^2-1][\nu-(n+1)(n+2)][\nu+n(n+1)]}-\frac{\alpha_n}{\beta},$$

$$\xi^s{}_{n-2}=\frac{-(n-s)(n+s+2)}{(2n-1)(2n-3)[\nu-(n-1)n]},$$

$$\eta^s{}_{n+2}=\frac{-(n+s+1)(n+s+2)}{(2n+3)(2n+5)[\nu-(n+1)(n+2)]}$$

である．

日月合成半日潮 K_2 では $s=2$, $\nu=2$ であるから $n=2$ に対しては $L^s{}_n$, $\xi^s{}_{n-2}$ が共に不定値を採る．併し n と s とは厳密に整数であるが ν は f 即ち潮汐の週期で決定さるべきものであり，以上の如き場合には ν がその極限値 $n(n-1)$ に接近する極限に於て $n-s$ を含む項が $=0$ となると云うことに考えればよい．この特別な場合に於て

$$L^s{}_2=\frac{3}{35}-\frac{\alpha^s{}_n}{\beta}\qquad\text{及び}\qquad\xi^s{}_0=0$$

である．

n の凡ゆる値について C を計算するには (15.20) を用い C_{-1}, E_{-1}, C_0, E_0 を $=0$ 考えれば宜しい．

長週期潮汐の場合には n が奇数の場合と n が偶数の場合とは完全に分離され両群を独立に取扱うことが出来た．只今の場合でも同様で太陽や月の引力で起る潮汐については奇数添字の C は悉く $=0$ と考えて宜しい．

半日潮汐の起潮力については $s=2$ で f は大体 1 で $E^s{}_n$ は $n=2$ のとき既ち $E^2{}_2$ 以外の E は総て $=0$ である．

一日潮汐では $s=1$, f は略々 $\frac{1}{2}$ に等しく $n=2$ のとき既ち $E^1{}_2$ 以外の E は総て $=0$ である．

また n が奇数の場合は無いから偶数添字丈けを考へれば充分である．

両場合共 C を与える第一式は

$$-L^s{}_2C^s{}_2+\eta^s{}_4C^s{}_4=\frac{E^s{}_2}{\beta}\qquad(s=2\text{ または }1)$$

である．そこで今

$$\xi^s{}_0C^s{}_0=-\frac{E^s{}_2}{\beta}(s=2\text{ または }1)$$

と書けば C_0, C_2, C_4, …… の間には $n\geqq2$ に対し (15.20) が適用出来るのである．既ち

$\xi^s{}_{n-2}C^s{}_{n-2}-L^s{}_nL^s{}_nC^t{}_m+\eta^s{}_{n+2}C^s{}_{n+2}=0$ ($s=2$ または 1) は $n=2$, 4, 6, …… に対して成立する．

$C^s{}_{n+2}/C^s{}_n$ が $n\to\infty$ に対して次第に小さくなることは長週期潮汐の場合と同様にして証明することが出来る．さうすると吾々の方程式は

$$\xi^s{}_{n-2}\frac{C^s{}_{n-2}}{C^s{}_n}=L^s{}_n-\frac{\xi^s{}_n\eta^s{}_{n+2}}{\xi^s{}_nC^s{}_n/C^s{}_{n+2}}$$

となるからこの式を繰返して適用することに依り右辺は連分数の形になる．今

$$H^s{}_n=\frac{\xi^s{}_{n-2}\eta^s{}_n}{L^s{}_n-}\,\frac{\xi^s{}_n\eta^s{}_{n+2}}{L^s{}_{n+2}-}\,\frac{\xi^s{}_{n+2}\eta^s{}_{n+4}}{L^s{}_{n+4}-\cdots\cdots}$$

と書けば上の式は

$$\xi^s{}_{n-2}\frac{C^s{}_{n-2}}{C^s{}_n}=\frac{\xi^s{}_{n-2}\eta^s{}_n}{H^s{}_n}$$

となるから

$$C^s{}_n=\frac{H^s{}_n}{\eta^s{}_n}C^s{}_{n-2}$$

となり従つて

$$B^s{}_2=\frac{N^s{}_2}{\eta^s{}_0}C^s{}_0,\quad C^s{}_4=\frac{H^s{}_2H^s{}_4}{\eta^s{}_0\eta^s{}_2}C^s{}_0,$$

$$C^s{}_6=\frac{H^s{}_2H^s{}_4H^s{}_6}{\eta^s{}_0\eta^s{}_2\eta^s{}_4}C^s{}_0\cdots\cdots$$

そこで定義した通り

$$\eta^s{}_2=1\qquad\text{及び}\qquad C^s{}_0=\frac{E^s{}_2}{\beta}$$

であるから，C は総て既知数で表わすことが出来る．

以上の様にして半日潮汐の潮高は

$$\zeta=-\frac{gh}{4\omega^2a^2}E^s{}_2\cos(2\omega ft+s\lambda+\varepsilon)\Big\{H^s{}_2P^s{}_2(\mu)+\frac{H^s{}_2H^s{}_4}{\eta^4{}_s}P^s{}_4(\mu)+\frac{H^s{}_2H^s{}_4H^s{}_6}{\eta^s{}_4\eta^s{}_6}P^s{}_6(\mu)+\cdots\cdots\Big\}\qquad(15.21)$$

となる．これに対し平衡潮高は

$$\bar{\zeta}=E^{s}{}_{2}P^{s}{}_{2}\cos(2\omega ft+s\lambda+\varepsilon)$$

であるから両者の比は

$$\zeta/\bar{\zeta}=\left(1-\frac{3}{5}\frac{\rho}{\rho_0}\right)\frac{1}{\beta P^{s}{}_{2}(\mu)}\left\{H^{s}{}_{2}P^{s}{}_{2}(\mu)+\frac{H^{s}{}_{2}H^{s}{}_{4}}{\eta^{s}{}_{4}}P^{s}{}_{4}(\mu)+\frac{H^{s}{}_{2}H^{s}{}_{4}H^{s}{}_{5}}{\eta^{s}{}_{4}\eta^{s}{}_{6}}P^{s}{}_{6}(\mu)+\cdots\cdots\right\}\tag{15.22}$$

で与へられる．

以上の理論から見て長週期潮汐以外では両極で $\zeta=0$ であることが知られる．

16. 太陽半月潮汐

そこで今 S. S. Hough が計算した数例を挙げる．$\rho/\rho_0=0.18093$ として太陽半日潮汐 $S_2(f=1)$ を算計すると次の様になる．まづ $\beta=40$ に対しては

$$\zeta/\bar{\zeta}=\frac{1}{P^{2}{}_{2}(\mu)}[-1.9476P^{2}{}_{2}-2.12617P^{2}{}_{4}+0.81331P^{2}{}_{6}-0.13628P^{2}{}_{8}+0.01363P^{2}{}_{10}-0.000922P^{2}{}_{12}+0.000045P^{2}{}_{14}-0.000003P^{2}{}_{16}+\cdots\cdots]$$

となる．また $\beta=20,\ 10,\ 5$ に対しては右辺の括弧の中は各々次の様になる．

$$-0.83227P^{2}{}_{2}+0.21694P^{2}{}_{4}-0.02615P^{2}{}_{6}+0.00180P^{2}{}_{8}-0.000080P^{2}{}_{10}+0.000003P^{2}{}_{12}+\cdots\cdots,$$

$$-191.925P^{2}{}_{2}+15.696P^{2}{}_{4}-0.8082P^{2}{}_{6}+0.0256P^{2}{}_{8}-0.0005P^{2}{}_{10}+\cdots\cdots,$$

$$1.9610P^{2}{}_{2}-0.06823P^{2}{}_{4}+0.00164P^{2}{}_{6}-0.000025P^{2}{}_{8}+\cdots\cdots$$

以上の結果から赤道上に於ける潮高と平衡潮高との比を計算すれば次の様になる．(1)

$\beta=$	40	20	10	5
$\zeta/\bar{\zeta}=$	+7.9548	−1.5016	−234.87	+2.1389

$\beta=10$ に対して以上の比が著じるしく大きいことは 12 時間と僅かに週期を異にする自由振動が存在していることを示すものである．この週期を計算してみると $\beta=10$ では 12 時 1 分となるが $\beta=40$ に対しては同じく 12 時 5 分となる．既ち週期が自由振動のそれに対して 1 分間異れば強制潮汐は平衡潮高の 250 倍に近い潮高を有つが，両週期の差が 5 分間となれば潮高は相当した平衡潮高の 10 倍以下になつてしまう．尚両極では $\zeta=0$ である．

以上論じた強制潮汐が無限大の潮高を有つに至る水深は即ち週期 12 時間の自由振動を有つ水深に等しい．この水深を計算すると夫々 29182 呎及び 7375 呎となる．

以上の結果を (§8) の結果即ち海面変形の影響を無視した Laplace の結果と比較してみよう．さうすると 4 つの場合中海面変形の影響で潮高の比 $\zeta/\bar{\zeta}$ が増大する場合が 3 回であり，且つ符号の異る場合も 2 回ある．これは $\rho/\rho_0=0.18093$ では自由振動の週期は 12 時間よりも小し大きく，$\frac{\rho}{\rho_0}=0$ の場合には 12 時間よりも小さいためである．

(1) Laplace の結果 (§8) と比較され度い．

17. 太陽半日潮汐

Hough はまた太陰半日潮汐 M^2 $(s=2,\ f=0.96350)$ について同様の計算を行つたがその結果 $\beta=40,\ 20,\ 10,\ 5$ に対し括弧の中は夫々次の様になる．

$$0.10396P^{2}{}_{2}+0.57998P^{2}{}_{4}-0.19273P^{2}{}_{6}+0.03054P^{2}{}_{8}-0.002960P^{2}{}_{10}+0.000196P^{2}{}_{12}-0.000010P^{2}{}_{14}+\cdots\cdots,$$

$$-1.064P^{2}{}_{2}+0.24038P^{2}{}_{4}-0.02774P^{2}{}_{6}+0.00186P^{2}{}_{8}-0.000082P^{2}{}_{10}+0.000003P^{2}{}_{12}-\cdots\cdots,$$

$$9.1181P^{2}{}_{2}-0.71533P^{2}{}_{4}+0.03621P^{2}{}_{6}-0.001136P^{2}{}_{8}+0.000024P^{2}{}_{10}-\cdots\cdots,$$

$$1.7646P^{2}{}_{2}-0.06057P^{2}{}_{4}+0.001447P^{2}{}_{6}-0.000022P^{2}{}_{8}+\cdots\cdots$$

赤道上の潮汐と同じく平衡潮高との比は次の様になる．

$\beta=$	40	20	10	5
$\zeta/\bar{\zeta}=$	−2.4187	−1.8000	+11.0725	+1.9225

この結果を太陽半日潮汐の場合と比較すると，水深 7260 呎に対しては太陽潮汐は起潮力と同じ位相にあり，太陰潮汐は逆の位相にある．また 29040 呎に対しては事態は全然この逆である．勿論これは 12 太陽時（厳密には 12 恒星時）と 12 太陰時との中間の週期を有つ自由振動が存在する事実に依る．太陰半日潮汐が無限大の潮差を有つ水深は夫々 26044 呎及び 6448 呎である．従つて太陰太陽両潮汐の位相が逆になるのは水深が 29182 呎と 26044 呎の間にあるとき，及び 7375 呎と 6448 呎との間にある場合に起る．そのために起る重要な結果はこの限界内にある水深に対しては大潮と小潮との現象が逆になる．既ち上下弦に潮差が大きく，朔望に小さい．尚両極では $\zeta=0$ である．

18. 一日潮汐，

一日潮汐の潮差が極めて小さいことは Laplace の理論から正確に一平均太陽日を週期とするものでは水面の昇降が無いことが結論されたことでも推知し得る．事実一日潮汐は一般に極めて小さくその最も重要な太陰一日潮汐，O_1 について Hough が計算した結果は次の様になる．

$\beta=40$ の時は

$$\zeta/\bar{\zeta}=\frac{1}{P^{1}{}_{2}(\mu)}[-0.07638P^{1}{}_{2}+0.03543P^{1}{}_{4}-0.0_{0}845P^{1}{}_{6}+0.001207P^{1}{}_{8}-0.000114P^{1}{}_{10}+0.0000001P^{1}{}_{12}-\cdots\cdots]$$

となり更に $\beta=20,\ 10,\ 5$ に対し上式の括弧内は

$$-0.1691P^{1}{}_{2}+0.04738P^{1}{}_{4}-0.00628P^{1}{}_{6}+0.000480P^{1}{}_{8}-0.000024P^{1}{}_{10}+0.000001P^{1}{}_{12}-\cdots\cdots,$$

$$-0.4145P^{1}{}_{2}+0.06576P^{1}{}_{4}-0.00464P^{1}{}_{6}+0.000184P^{1}{}_{8}-0.000005P^{1}{}_{10}+\cdots\cdots,$$

$$-1.4428P^{1}{}_{2}+0.1231P^{1}{}_{4}-0.00449P^{1}{}_{6}+0.00009P^{1}{}_{8}-0.000001P^{1}{}_{10}+\cdots\cdots$$

となる．

以上の 4 式は依つて見ると太陰一日潮汐は必ずしも小さいのではなく海の水深が増すにつれて増加し，位相は主として逆になる．海が浅くなれば水位の昇降は僅小であるが，水深が 58080 呎となると平衡潮高よりも大きい

潮汐が起る．また水深が増すにつれて潮汐の型は第二次の球函数 $P_2(u)$ の項丈けで表し得るものに接近して行く．

正確に1恒星日を週期とする太陽一日潮汐は水深が至る処一様である限り存在しないことは Hough の理論でも同様である．尚両極では一日潮汐は存在しない．

録　事

1. 月例会

（1） 12月例会（12月9日於気象庁会議室）温度逆転層の起時について　安井　正（気象庁）

（2） 1月例会（1959年1月13日於気象庁会議室）1. Turbulence and fronts in the Equatorial Pacific Ocean　竹内能忠（気象庁）2. クリスタルのセイシュ理論に於けるノルマルカーブ決定に対する簡易な方法 F.C.W. Olson（米海軍）中野猿人代読

2. 寄贈交換図書

国内の部

○資源科学研究所彙報　46～47, 48. ○運輸技研資料 No. 12（機械-8）, No. 13（機械-9）, No. 14（機械-10）, No. 15（土木-1）. ○気象集誌 **35**, 5, 6, 1957, **36**, 1, 2, 3, 4, 5, 1958.　○地質学雑誌 **64**, 749, 750, 751, 752, 753, 754, 755, 757, 758, 759, ○小林理学研究所年報 **7**, 3, 4, **8**, 1, 2. ○測地学会誌 **4**, 3, 4. ○日本航空学会誌 **6**, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59. ○東京工業試験所報告 53回, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10. ○水道協会雑誌 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 292. ○電波研究所季報 **4**, 14, 15, 16, 17. ○運輸技術研究所報告 **8**, 1, 2, 3, 4, 5. ○Ionospheric Data in Japan **9**, 11, 12, **10**, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, Supplement July.-Oct., 1957, Nov. 1956-Apr., 1957, the latter half of 1948 (July-Dec. 1948). ○地質調査所月報 **9**, 7, 8, 9, 10, 11, 同月報 9巻1号, 附図. ○地質調査所年報　昭和31年度. ○地理文献目録 1945-1955. ○日本化学総覧 **32**, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, **33**, 1. ○富士製鉄技報 **7**, 1, 2, 3, 4. ○日本塩学会誌 **12**, 1, 2, 3, 4, 5, 6. ○工学部研究報告 18, 19, 20. ○The Journal of Earth Sciences Nagoya University **6**, 1. ○Memoirs of the Faculty of Engineering Nagoya University **10**, 1. ○Papers in Meteorology and Geophysics **9**, 1. ○東海区水産研究所研究報告 20, 21. ○北海道区水産研究所研究報告 18, 19. ○淡水区水産研究所研究報告 **7**, 2, **8**, 1. ○日本原子力研究所年報　昭和32年度 ○我が国における学術賞（授賞題目と受賞者） ○日本原子力研究所研究報告 3, 4. ○天文月報 **51**, 9, 10, 11, 12, **52**, 1. ○Publications of the Astronomical Society of Japan **10**, 2. 収書通報 6. ○南極資料 4, 5. ○農学研究所彙報 **10**, 1, 2. ○Collected Reprints **5**. ○The Scientific Reports of the Whales Research Institute 13. ○広島大学地学研究報告 5, 6. ○Report of Transportation Technical Research Institute 30. ○東京工業試験所年報　昭和31年度. ○桐朋学報 8. ○雪氷 **20**, 6. ○The Science Reports of the Tohoku University **10**, 1. ○東京学芸大学研究報告 **9** 集. ○Bulletin of the Tokyo Institute of Technology 1. ○函館海洋気象台要報 5, ○逐次刊行物目録，昭和32年版 ○放射線医学総合研究所年報　昭和32年度 ○放医研ニュース **1**. 8, 9, 10. ○各国原子力情報 42, 43, 44, 45, 46. ○気象庁月報　昭和33年2月，3月，4月，5月，6月，正誤表，昭和29年—昭和30年 ○気象庁年報　昭和32年第1部，第2部. ○験震時報 **23**, 1. ○研究時報 **10**, 4, 5, 6, 7, 8. ○気象庁海洋報告 **7**, 1, **7**（特別号）. ○気象庁欧文海洋報告 **10**, **1**. ○気象要覧 696, 697, 698, 699, 700. ○産業気象調査報告 **21**, 1, 2. ○欧文彙報 **28**, 3. ○気象庁彙報第40冊 2号. ○富士山頂の気象特別号. ○The Results of Marine Meteorological and Oceanographical Observations 21.

国外の部

○R. H. Fleming, Present Status and Future Development of Oceanography, Reprinted from Proceedings of the Eight Pacific Science Congress.○C.A. Barnes, & R.G. Paquette, Circulation near the Washington Coast, Reprinted from Proceedings of the Eight Pacific Science Congress.○C.A. Barnes, J.H. Lincoln & M. Rattray, Jr., An oceanographic model of Puget Sound, Reprinted from the Proceedings of the Eight Pacific Sciences Congress.○R.H. Fleming, General Features of the Oceans, Reprinted from Geol. Soc. America, 1957.○S.A. El. Wardani, On the geochemistry of germanium, Reprinted from Geochimica at Cosmochimica Acta **13**, 1957.○T.G. Thompson, A short history of oceanography with emphasis of the role played by chemistry. Reprinted from Jour. chemical Education **35**, 1958.○R. Muzinic. Preliminary observations on the numbers of nematodes in horse mackerel, *Trachurus trachurus* L.（本文はユーゴスラビヤ語）Reprinted from Biljeseke—Notes, 13, 1958. ○J. Karlovac, Investigations on the Larvae and Postlarvae of the Sardine (Sardina Pilchardus Walb.) in the open waters of the Adriatic Sea. Izvjesca—Reports. **IV**, No. 4D, 1958.○Acta Adriatica **VI**, 6 (1957), **VIII**, 7, 8, 9, 10, 1958. (Published by Institut za Oceanografiju, Ribarstvo, Jugoslavija).○Las Investigaciones Maritimas, Published by Universidad Catolica de Santo Tomas de Villanueva, Febrero, 1958.○Investigaciones Sobre el Plancton Marino de

Cuba, ibid Boletin 1, 1957.○Chriodorus Atherinoides Nuevo Reporte Para la Fauna ictiologica cubana, ibid., Boletin 2, 1957.○Experiencias con el empleo de Equipo Oceanografico en el Golfo de Batabano. Monografia, 1958.○Fishery Investigatinos, Series **II**, **XVII**, 6, **XVIII**, 2, 4, 6, 7, 8, 9, **XX**, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11. Series II, **XXI**, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7. Series II, **XXII**, 1, 2, 3, 4. (Published by Ministery of Agriculture, London).○R.J.H. Beverton and S.J. Holt, On the Dynamics of Exploited Fish Populations (Published by Her Majesty's Stationery Office, Great Britain).○Scripps Institution of Oceanography Contribution 1956.○Woods Hole Oceanographic Institution Collected Reprints 1957.○Contributions of the Hawaii Marine Laboratory University of Hawaii 1957.○Contributions from the Woods Hole Oceanographic Institution 1933-56, Author Index, Subject-Locality Index, Taxonomic Index.○Rapport Annuel de La Station de Biologie Marine 1953, Contribution du Département des Pêcheries, Ouébec 50.○K. Ronald. The metazoan parasites of the heterosomata of the Gulf of St. Lawrence, reprinted from Canadian Journal of Zoology 35, 437 1957.○Veröffentlichungen des Instituts für Meeresforschung in Bremerhaven, Band V, Heft 3, 1958.○Annual Report of the director of the museum of Comparative Zoology at Harvard College 1956-57.○Bulletin of the Museum of Comparative Zoology at Harvard College. **119**, 2, 1958. The Polar Record. **9**, 60, 1958.○Polar Record Index **7**, 47-51 (Jan. 1954～Sept. 1955) **8**, 52-57 (Jan. 1956～Sept. 1957).○Magnetograms and Hourly Values. Sitka, Alaska, 1954.○Revista de Biologia Marina. **VII**, 1, 2, 3. (published by Estacíon de Biologia Marina de la Universidad de Chile.○Deutsche Hydrographisches Institut, Jahresbericht 12, 1957.○Deutsche Hydrographische Zeitschrift, Band 7, Heft 3/4, 5/6, Band 8, Heft 1, 2, 3, 4, 5, 6, Band 9, Heft 1, 2, 3, 4, 5, 6, Band 10, Heft 1, 2, 3, 4, 5, Band 11, Heft 1, 2, 3, 4.○海洋與湖沼 **1**, 1, 2 (中国海洋湖沼学会編輯○World Fisheries Abstracts **9**, 4, 5, 1958 (Published by Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome).○Bulletin of the Scripps Institution of Oceanography of the Univ. of Cal. **3**, 3, 1958.○Przeglad geograficzny, Tom **XXX** zeszyt 1, 2, 3, 1958 (published by Polska Akademia Nauk Instystut Geografii, Warszawa 1958).○Pacific Science **XI**, 3, 1957, **XII**, 2, 3, 4, 1958.○Journ. Marine Biological Association of the United Kingdom **37**, 1, 2, 3, 1958.○Woods Hole Oceanographic Institution Reference No- 58-28, (Project Ice Skate) Reference No. 58-30, (I.G.Y. Cruise one and two 1957) Reference No. 58-31, (I.G.Y. 1957-58).○Technical Information Bulletin from the Radio-Frequeucy Spectroscopy **2**, 2.

3. 役員会の主なる決定事項及び連絡事項

決定事項 (12月役員会) 在外邦人で学会誌の郵送を希望する向は会費は ¥900 ($2.5) 円とする. ○会則改正案の修正には次の評議員が案を作ることになつた. 南日俊夫. 福岡二郎. 宇野木早苗. 以上3名 (1月役員会) ○昭和34年度春季大会は4月6, 7, 8日の3日間東海区水研で行う. 講演申込みは2月20日迄 学会事務局え通知の事. ○役員の選挙に関して選挙管理委員会は次の様な構成に決つた. 委員長三宅泰雄, 委員吉田耕造, 安井正, 平野敏行, 宇野木早苗.

連絡事項 (12月役員会) ○海洋学用語専門部会では4000語の選定がおわつた旨報告があつた. (1月役員会) ○会長より第4次南極観測には海洋部門は3名派遣出来る旨報告. ○今夏ひらかれる国際海洋会議に論文を呈出する方は海洋研連委員長宛に論文のアブストラクトの写しを送るよう連絡があつた.

4. 会員消息

会員吉村甚吉氏は昭和33年7月4日逝去された. ここに略歴及び業績をあげて心から弔意を表する次第である.

略　歴

昭和23年6月	専売局製塩試験場長
昭和29年7月	日本専売会社塩脳部技術課長
昭和33年1月	日本専売公社調査役

主なる業績

鹸水, 苦汁の塩化石灰処理 (第1報), 日誌塩 Vol. 4, No. 5, 16 (1950). 海洋資源の合理的採取方法についての一考案 日塩誌 Vol. 8, No. 2, 2 (1954). 最近に於ける製塩技術のあり方について 日塩誌 Vol. 9, No. 2, 3 (1955). (以上 福岡二郎記)

会員小向良七氏は昭和34年3月9日逝去された. ここに略歴及び業績をあげて心から弔意を表する次第である.

略　歴

昭和17年9月	東北帝大理学部卒業
昭和19年	海軍技師に任ぜられ逝去時は海上保安庁水路部測量課首席補佐官であつた.

主なる業績

「函館大森浜の海岸侵蝕の研究」(学位論文)

(以上半沢正男記)

5. 編集記事

第15巻第2号に掲載予定の手持原稿は2月1日現在3篇です. ふるつて原稿をお寄せ下さい.

日本海洋学会誌

第 14 巻 (1958)

総 目 次

第 1 号

G. VERONIS: β 面海洋の過渡的レスポンス (英文)……1～5
宮崎正衛: 南氷洋における帯状循環について (英文)……7～9
福岡二郎: 伊豆海嶺を越える黒潮について(英文)……11～14
宇野木早苗, 中野猿人: 台風による御前岩と五島灘の波浪の計算……15～23
山本広志: 本邦内湾の海洋化学的研究 (第 1 報) 浦戸湾に於ける不連続層について……25～29
寄稿
山下行成: 昭和 31 年東北海区綜合海況……31
三好寿: エネルギーというもの……32
録事……32～33

第 2 号

市栄誉: 海洋における密度の鉛直構造の理論 (英文)……35～40
市栄誉: 海底における衝撃に因る津浪発生の理論 (英文)……41～44
日高孝次: 市栄博士の論文"海底における衝撃に因る津浪発生の理論"への覚書 (英文)……45～46
佐々木忠義, 渡辺精一, 大柴五八郎, 岡見登: 新しい測器による海中の光の角分布の測定 (英文)……47～52
西村三郎: 日本列島対馬暖流域におけるハリセンボンの"寄り"現象について——I. "寄り"の地域的, 時期的出現状態 (1)……53～58

JOURNAL OF THE OCEANOGRAPHICAL SOCIETY OF JAPAN

Volume 14 (1958)

CONTENTS

Number 1

G. VERONIS: On the Transient Response of a β-plane Ocean……1～5
M. MIYAZAKI: Note on the Zonal Circulation in the Antarctic Ocean……7～9
J. FUKUOKA: On the Kuroshio near the Izu Islands……11～14
S. UNOKI and M. NAKANO: Estimation of Storm Waves caused by Typhoons at Gozen-iwa and Gotô-nada (in Japanese)……15～23
H. YAMAMOTO: Oceanographical Studies on Japanese Inlets (I) Discontinuous Layers in Urado Bay (in Japanese)……25～29
Correspondences
Y. YAMASHITA: The Oceanographical Conditions of the Sea East of Honshu, Japan, in 1956 (in Japanese)……31
H. MIYOSHI: On Energy (in Japanese)……32
Proceedings……32～33

Number 2

T. ICHIYE: A Theory of Vertical Structure of Density in the Ocean……35～40
T. ICHIYE: A Theory on the Generation of Tsunamis by an Impulse at the Sea Bottom……41～44
K. HIDAKA: A Note on Dr. ICHIYE's Paper "A Theory on the Generation of Tsunamis by an Impulse at the Sea Bottom"……45～46
T. SASAKI, S. WATANABE, G. OSHIBA and N. OKAMI: Measurements of Angular Distribution of Submarine Daylight by Means of a New Instrument……47～52
S. NISHIMURA: Mass Stranding of Porcupine Puffer along the Coasts of the Tsushima Current Region of the Japan Archipelago—I. Occurrence of the Mass Stranding by Regions (1). (in Japanese)……53～58

西村三郎：日本列島対馬暖流域におけるハリセンボンの“寄り”現象について——II. “寄り”の地域的，時期的出現状態 (2)……59～63

寄稿……65～75

三好寿：明神礁の津浪に関する2つの提案…… 65

南日俊夫：海流の境界について…… 65

宇田道隆：第7回水産生物環境シンポジアム…… 66

宇田道隆：第8回水産生物環境シンポジアム 66～67

日高孝次：潮汐理論（第1回）……69～75

録事……77～80

第 3 号

杉浦次郎：“駒橋”の観測による 1934～1936 年の北洋の海況……81～85

E. SCHWEIGGER：ペルー沿岸の湧昇流（英文）……87～91

山本広志：本邦内湾の海洋化学的研究（第2報）浦戸湾に於ける海況の日週変化について……93～97

輿水直文：日本海対馬暖流域の水塊の性状……99～102

西村三郎：日本列島対馬暖流域におけるハリセンボンの“寄り”現象について——III. “寄り”の生態学……103～107

西村三郎：日本列島対馬暖流域におけるハリセンボンの“寄り”現象について——IV. “寄り”の機構に関する考察……109～116

S. NISHIMURA: Mass Stranding of Porcupine Puffer along the Coasts of the Tsushima Current Region of the Japan Archipelago—II. Occurrence of the Mass Stranding by Regions (2). (in Japanese) ……59～63

Correspondences

H. MIYOSHI: Two Proposals Concerning Myojinsho Tsunamis (in Japanese)…… 65

T. NAN'NITI: On the Boundaries of Ocean Currents (in Japanese) …… 65

M. UDA: The Seventh Meeting of the Symposium on Fish and Marine Life Environments (in Japanese) …… 66

M. UDA: The Eighth Meeting of the Symposium on Fish and Marine Life Environments (in Japanese) ……66～67

K. HIDAKA: Theory of Tides (I) (in Japanese) ……69～75

Proceedings ……77～80

Number 3

J. SUGIURA: Oceanographic Conditions in the North-western North Pacific based upon the Data obtained on board the “Komahashi” from 1934 to 1936 (in Japanese) ……81～85

E. SCHWEIGGER: Upwelling along the Coast of Peru ……87～91

H. YAMAMOTO: Oceanographical Studies on Japanese Inlets (2). Diurnal Variation of Hydrographical Condition in Urado Bay (in Japanese) ……93～97

N. KOSHIMIZU: The Properties of Water-masses in the District of the Tsushima Current in the Japan Sea (in Japanese) ...99～102

S. NISHIMURA: Mass Stranding of Porcupine Puffer along the Coasts of the Tsushima Current Region of the Japan Archipelago—III. Some Ecological Notes on the Mass Stranding (in Japanese) ……103～107

S. NISHIMURA: Mass Stranding of Porcupine Puffer along the Coasts of the Tsushima Current Region of the Japan Archipelago—IV. A Hypothesis for the Mechanism of the Mass Stranding (in Japanese) ……109～116

寄稿
三好寿：　核実験による津浪の資料をめぐつて……117
富永政英：　流れによつて波が荒くなること　117～118
録事……118～120
会員名簿……121～126

第 4 号

川合英夫：　時とともに起伏する等スカラー面上の自然座標（英文）……127～136
森安茂雄：　本州南海の黒潮の変動 (4)．月平均潮位に及ぼす海況の影響（英文）……137～144
速水頌一郎，鳥羽良明：　海面における気泡の破裂による海水滴の生成について（第1報）．静止海水面での実験（英文）……145～150
鳥羽良明：　濾紙による海水滴の観測法（英文）……151～154
山本広志：　本邦内湾の海洋化学的研究　（第3報）塩類組成の変動と海況との関係（その 1，浦戸湾について）……155～158
山本広志：　本邦内湾の海洋化学的研究　（第4報）塩類組成の変動と海況との関係（その 2，須崎湾）……159～161
寄稿
宇田道隆：　カナダ通信……163～164
日高孝次：　潮汐理論（第2回）……164～169
録事……171～173

Correspondences
H. MIYOSHI: About the Data of Tsunamis caused by Nuclear Bomb Tests (in Japanese)...117
M. TOMINAGA: Raging of waves by currents (in Japanese) ……117～118
Proceedings ……118～120
Membership Directory……121～126

Number 4

H. KAWAI: The Natural Coordinates on the Equiscalar Surface Undulating with Time ……127～136
S. MORIYASU: On the Fluctuation of the Kuroshio South of Honshu (4). The Influence of the Oceanographic Conditions upon the Monthly Mean Sea Level……137～144
S. HAYAMI and Y. TOBA: Drop Production by Bursting of Air Bubbles on the Sea Surface (I). Experiments at Still Sea Water Surface ……145～150
Y. TOBA: Observation of Sea Water Droplets by Filter Paper ……151～154
H. YAMAMOTO: Oceanographical Studies on Japanese Inlets (III). Relations between Variation of Chemical Compositions and Hydrographical Conditions in Urado Bay (1) (in Japanese) ……155～158
H. YAMAMOTO: Oceanographical Studies on Japanese Inlets (IV). Relations between Variation of Chemical Compositions and Hydrographical Conditions in Susaki Bay (2) (in Japanese) ……159～161
Correspondences
M. UDA: News from Canada (in Japanese)...163～164
K. HIDAKA: Theory of Tides (II) (in Japanese) ……164～169
Proceedings ……171～173

リゴー海洋観測器械

測深機　各　種
採泥器　各　種
採水器及び測温観測器械
海水比重測定用具
海流調査器械各種
波圧波浪測定器
潮汐観測器械
海洋化学観測諸器具
プランクトン採集網
及び処理器械
その他理化学器械

株式会社　離　合　社

本　社　東京都千代田区神田鍛冶町１の２　電話 神田(25)1513・773・458
大阪営業所　大阪市北区北同心町１の15　電話 堀川(35)　８０１９
工　場　東京・浦和

T.S.K 株式會社 鶴見精機

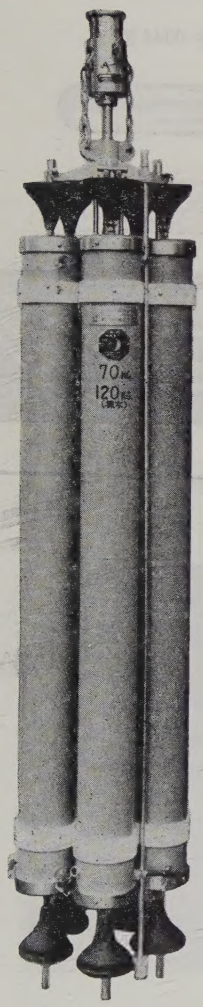
THE TSURUMI SEIKI KOSAKUSHO CO., LTD.

No. 1506, Tsurumi, Tsurumi-ku, YOKOHAMA, JAPAN

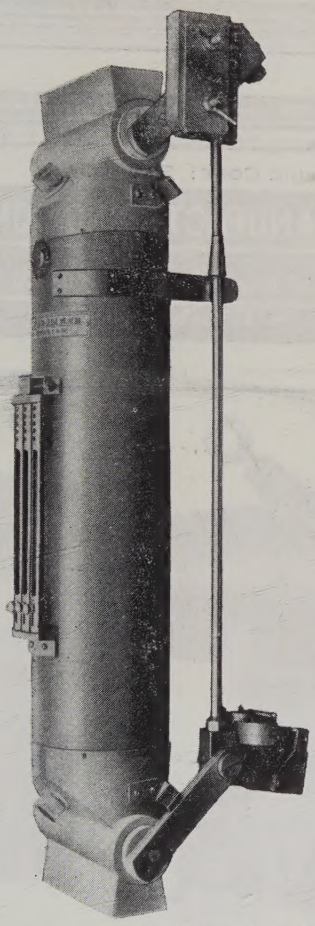
The Synthetic Maker of the Oceanographic Instruments and the Marine Instruments

WATER BOTTLES

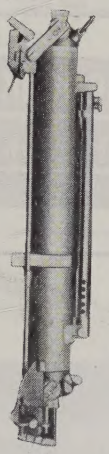
(国際地球観測年) 使 用



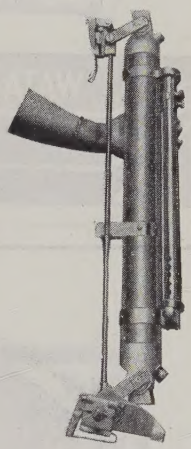
T.S. LARGE WATER BOTTLES
(T.S.-V.D. 50-liter)
(採水部全非金属製)



(T.S.-K. 25-liter)
(採水部全非金属製)



T.S.-NANSEN
1300 cc
(金属製)



(全プラスチック製)
(1300 cc)

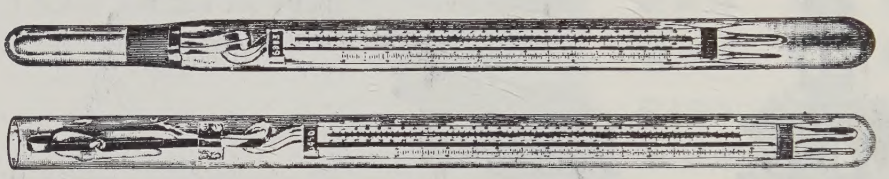
株式会社 鶴見精機工作所
岩宮測器研究所
所長 岩宮政雄

REVERSING THERMOMETER

渡部式転倒温度計　　赤沼式海水用比重計
木枠式転倒温度計　　温度基準器各種
水温計各種　　湿度計・水銀リレー

株式会社 渡部計器製作所

東京都文京区東片町114　　電話 小石川 (92) 5954番 0044番

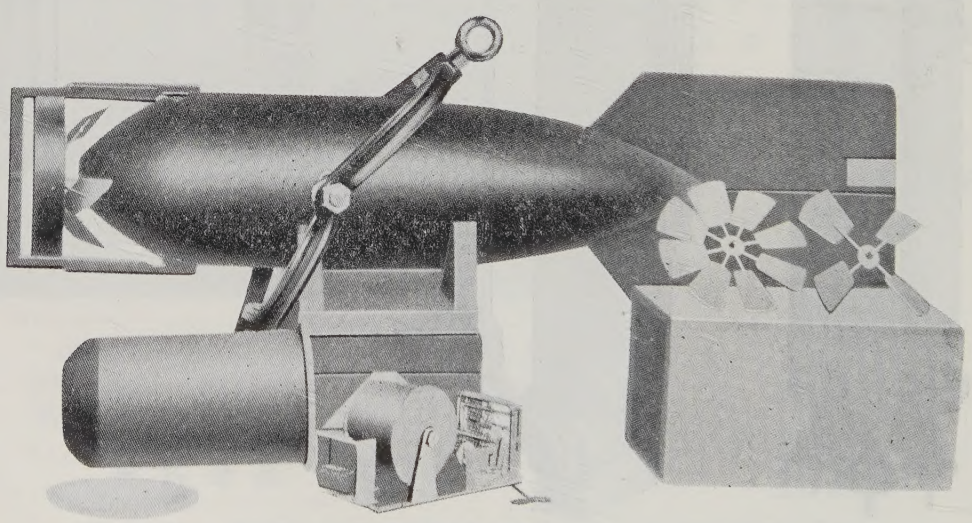


TELEGRAPHIC CODE: STWKEIKI

WATANABE KEIKI MANUFACTURING COMPANY LTD.

114 Higashikata-machi, Bunkyo-ku Tokyo.

JAPAN



(小野式自記流速計)

営業品目

小野式自記流速計・発電型流速計
土圧計・自記水位計
遠隔指示水位計・フース型検潮器
自記波高計・自記波圧計
階段抵抗式波高計・その他海洋観測諸計器

協和商工株式会社

東京都豊島区椎名町1丁目1804番地

電話 (95) 1858・8147番

Announcement for foreign members

Beginning from the 1959 fiscal year, namely from April 1, 1959 (Volume 15, No. 1), the annual foreign membership dues of the Oceanographical Society of Japan will be U.S. $2.50 (¥900).

Please make remittances payable to and send direct to :—

The Oceanographical Society of Japan
c/o Geophysical Institute,
Tokyo University
Yayoi-cho, Bunkyo-ku
Tokyo, Japan.

Annual dues for foreign members who are now in Japan and wish to receive the Journal at their present addresses in Japan will be ¥600.

昭和33年12月の役員会において，昭和34年度より日本人会員で目下，外国にあり雑誌を自分が現在いるところに送つてもらいたいものの会費を米貨 2 ドル50セント（邦貨900円）に改訂することが決められましたので御承知下さい。なお在外日本人で雑誌の留守宅送付を希望する向の会費は在来通り 600 円です。

昭和 34 年 3 月 20 日印刷
昭和 34 年 3 月 25 日発行　日本海洋学会誌　第 15 巻 第 1 号

定価 ¥200　送料 ¥20

編集者　中野猿人

発行者　日本海洋学会
東京大学理学部地球物理学教室内
東京都文京区弥生町
振替番号：東京 173123

印刷所　大東印刷工芸株式会社
東京都中央区新富町 2 ノ 19

JOURNAL OF THE OCEANOGRAPHICAL SOCIETY OF JAPAN

BOARD OF EDITORS

Editor-in-Chief	Masito NAKANO	Meteorological Research Institute
Assistant Editors	Masao HANZAWA	Japan Meteorological Agency
	Ryuzo MARUMO	Japan Meteorological Agency
	Hiroshi NIINO	Tokyo University of Fisheries
	Akira OKUBO	Japan Meteorological Agency
	Sanae UNOKI	Meteorological Research Institute

* * *

The JOURNAL OF THE OCEANOGRAPHICAL SOCIETY OF JAPAN is a medium for the publication of original paper in oceanography and closely allied fields. It is published quarterly by the Oceanographical Society of Japan. The annual dues for the types of membership available in the Society are: Domestic Member ¥600, Oversea Member $2.50 (¥900), and Sustaining member ¥5000. The subscription price of the Journal is ¥800 per year to nonmembers. Foreign subscription carry an additional charge for postage $1.00 (or equivalent amount in Japanese currency according to the prevailing official rate of exchange).

Subscribers are requested to make remittance payable to the Oceanographical Society of Japan. Subscription orders, claims for missing numbers, change of address, and other business correspondence should be addressed to the Oceanographical Society of Japan, c/o Geophysical Institute, Tokyo University, Yayoi-cho, Bunkyo-ku, Tokyo, Japan.

* * *

Information for contributors

1. Authors must be, in principle, members of the Oceanographical Society of Japan, but there is no objection if co-authors are non-members.
2. The date of receipt of a manuscript is when the editorial board receives it. The manuscript should be one which has been read at an open meeting and has not been printed elesewhere. The reading of the manuscript at an annual or a monthly meeting of the Oceanographical Society of Japan is desirable. The manuscript should be provided with the date, the name and the place of the meeting at which it was read. Every manuscript should be sent *directly* to **the Editorial Board of the Journal of the Oceanographical Society of Japan, c/o Oceanographical Laboratory, Meteorological Research Institute, Mabashi, Suginami-ku, Tokyo, Japan.**
3. All contributions to the Journal should be written in Japanese or in occidental languages. In the latter case, English language is desirable.
4. The manuscript must be clear and brief, and its length should not exceed **10** pages when printed in the Journal. This nearly corresponds to 25 double-spaced typewritten pages including figures. and tables. The author is requested to pay page charges ($ 5.00 per page) necessary for printing the **exceeded** pages. All manuscripts should be prepared with special attention to following articles.
   (a) All manuscripts should be typewritten with double-space.
   (b) Title, author's name and affiliation are required at the beginning of each manuscript.
   (c) Each figure must be drawn in black ink or Indian ink for direct photographic reproduction. The original drawing, particularly characters and symbols for the lettering of illustrations, should be large enough to remain clearly legible when reduced.
   (d) Figures and tables should be confined to necessary ones. The author might be requested to pay charges necessary for printing them when they are particular or exceed 8 sheets.
   (e) Each figure and table must be provided with an adequate legend.
   (f) Mathematical formulae in the manuscript should be written clearly with a wide space above and below each character.
   (g) References should be grouped at the end of the paper and arranged alphabetically by authors' name.
   (h) The form and style of each article should be referred to the Journal subsequent to volume 12.
5. The editorial board of the Journal might revise or request the author to revise the submitted manuscript. A manuscript which is against the above mentioned articles will not be accepted. The author must read, in principle, the galley proof.
6. The author (or authors) of each article will receive a total of 50 *free* reprints (with covers). Additional reprints with or without covers may be ordered by authors at the cost of printing (including postage).